

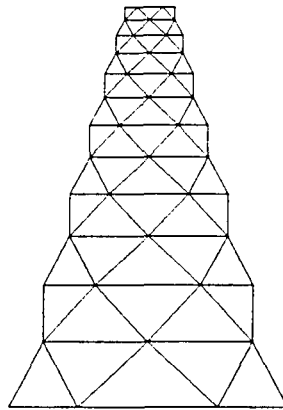
Tesis doctoral

**LOS CUERPOS GEOMÉTRICOS  
EN LA  
ARQUITECTURA DE GAUDÍ**

*Las chimeneas del Palau Güell.  
Construcción y geometría práctica en un ejemplo*

**TOMO I**

**UPC**  
BIBLIOTECA RECTOR GABRIEL FERRATE  
Campus Nord



**GUSTAVO J. NOCITO**  
Departament d'EGA I. ETSAB. UPC. Barcelona  
*Tesis dirigida por Lluís Villanueva Bartrina*

## CAPÍTULO VII RESULTADOS DE UNA COMPARACIÓN

### *Alcances de un método comparativo entre los modelos.*

Desde el momento en que se crea un modelo teórico alternativo al propio objeto restituido, se está iniciando en alguna manera un proceso de comparación. En este sentido, la elaboración de un modelo *ideal* se alimenta inicialmente de los datos de partida de la realidad, para luego volver a ella con el fin de constatar la validez de estos datos y la operativa empleada para generarlo.

En nuestro caso, este proceso se verifica en todos sus términos y se encuentra completamente justificado por el desarrollo lógico de la propia tesis. La necesidad de la creación de un modelo teórico dentro del marco de la investigación quedaba plenamente justificada -tal como se argumentó en el capítulo anterior- en relación a la demostración de la idoneidad de un sistema de generación geométrica. Es básicamente por este motivo que resulta imprescindible definir con extrema precisión los alcances y la intención concreta con que se realiza esta comparación entre los dos modelos dentro de nuestro entorno de trabajo.

En primer lugar, se ha de advertir rápidamente que los resultados del proceso comparativo en sí mismo no se encuentran dentro de los objetivos esenciales de la tesis. El sentido que en este caso tiene la relación entre ambos modelos es puramente operativo y, si se quiere, conceptual: podríamos decir que fundamentalmente se trata de confirmar los resultados de un proceso de generación geométrica que, elaborado teóricamente, debe forzosamente ser comparado con el modelo real.

La definición de este objetivo troncal de la investigación delimita de entrada algunas características esenciales del método comparativo elegido para llevar adelante nuestro trabajo. De estas reflexiones se desprenden inmediatamente dos conclusiones:

- a) que nuestro sistema comparativo no se basa en una evaluación de la *precisión* como factor determinante de relación;
- b) que los datos obtenidos por este sistema no tienen un significado autónomo, sino que siempre son referidos a *valores relativos*.

La primera de estas conclusiones parece bastante obvia. Sin embargo, es una costumbre frecuente pensar que la precisión en sí misma es una garantía de rigor metodológico. Un caso muy diferente sería, por ejemplo, si nuestro objetivo fuera un estudio de las patologías constructivas de la chimenea o el control de un problema de estabilidad estática. Para un análisis como el nuestro, en cambio, el entorno de trabajo que propone un sistema de dibujo CAD como el que utilizamos aquí, está por encima de nuestras necesidades de precisión numérica. Esto no significa un rechazo del medio

utilizado, sino más bien una conciencia de la relación entre estos factores de precisión y nuestros objetivos concretos.

La segunda conclusión está ligada indefectiblemente a la primera. La manera en que se expresan estas relaciones entre los modelos viene vinculada más a un resultado visual o a una relación proporcional que a un valor numérico aislado.

Esta delimitación del marco operativo encuentra aún más sentido si se tiene en cuenta que estamos trabajando en temas relacionados con el mundo de la construcción. Como sabemos, son muchos los factores que implican una relatividad de la precisión que puede conseguirse en la ejecución de una obra. Este fenómeno se detecta no sólo en los errores humanos que toda obra de edificación implica, sino también en las modificaciones que se producen sobre la marcha o en los ajustes de tipo operativo que el propio proceso constructivo requiere.

En este sentido, el propio tamaño de la chimenea -más próximo a una escala escultórica que arquitectónica- no hace sino acentuar estos problemas de ejecución.

Nuestra propuesta de enfoque del procedimiento comparativo se reafirma definitivamente cuando consideramos la manera de trabajo de Gaudí. Como hemos visto, el arquitecto era capaz de construir formas de una gran complejidad con el recurso de técnicas constructivas tradicionales, entre las que prefería habitualmente a los tabicados cerámicos, como es el caso de nuestro ejemplo. Es evidente que en un procedimiento como éste, en donde la superficie es modelada exteriormente en base a capas de mortero y aplacado cerámico, la forma está mucho más sujeta a desviaciones del patrón original que en una técnica de vaciado, como por ejemplo la del hormigón. Por otra parte, sabemos que Gaudí tampoco era partidario de un planteamiento de gran purismo formal y que, en alguna medida, también jugaba con estas leves fluctuaciones de la forma como un elemento expresivo más de su arquitectura.

Se hace necesario ahora definir con un mayor rigor metodológico las características básicas del procedimiento propuesto.

De lo reflexionado precedentemente se deduce en primer lugar que el método ha de ser esencialmente gráfico. Esta consideración se apoya por un lado en el alto contenido visual y globalizador del dibujo y por el otro en una coherencia con el propio sistema de generación y el sentido más concreto de la obra de Gaudí. En realidad se trata de comparar formas, y para esto el medio más idóneo es sin duda el de la expresión gráfica. Gaudí, un arquitecto deliberadamente alejado de toda especulación abstracta, trabaja a partir de la forma y *desde* la forma como único camino válido para concretar sus ideas de arquitectura.

El método generador de la superficie de la chimenea es un método que, en perfecta sintonía con las ideas del arquitecto, se apoya únicamente en la lógica de un procedimiento geométrico como fundamentación conceptual y operativa. De esta manera, un control visual

debidamente codificado y capaz de determinar las relaciones entre la obra construida y el modelo ideal, se muestra como la forma más natural de acceder a la interpretación de la realidad geométrica de la chimenea.

Todo lo dicho anteriormente no significa, sin embargo, una valoración negativa del método matemático dentro de los objetivos de nuestro procedimiento comparativo. Las posibilidades de los medios informáticos hacen que, en este caso, la comprobación numérica sea un eficaz aliado de los sistemas gráficos. Desde este punto de vista, los valores obtenidos por medición sobre ambos modelos comparados servirán para *cuantificar* el análisis visual y establecer de este modo los *entornos* o parámetros de fluctuación en que nos estamos moviendo. De acuerdo con esto, el método más utilizado fue el de aislar los valores máximos y mínimos del modelo restituído, para ponerlos en referencia con el modelo teórico y obtener de este modo las oscilaciones en magnitudes negativas y positivas respecto al patrón ideal. De esto se deduce que, al no estar determinándose precisiones métricas sino fluctuaciones, la forma más habitual de expresar estas variaciones será la del código gráfico, complementado en ocasiones con el aporte de los valores numéricos de referencia. De esta manera, el método numérico se transforma en un apoyo cuantitativo del método gráfico, que permite una rápida evaluación de las tendencias y un adecuado control de las desviaciones.

Resumiendo, podríamos decir que lo que vamos a buscar inicialmente en la comparación del modelo teórico con el restituído es la *estabilidad de la forma*. Una estabilidad que se expresa fundamentalmente en la *constancia* de ciertas figuras en relación a sus dimensiones y valores angulares.

Las fluctuaciones de tamaño y las variaciones angulares son, pues, los dos elementos necesarios para evaluar el propio proceso de generación de la chimenea, ya que el objetivo último del método comparativo es justamente el de analizar en qué medida esta estabilidad de la forma incide sobre dicha generación geométrica. Como veremos inmediatamente, la evaluación de los parámetros de la forma se llevó a cabo a partir de la comparación en las figuras de los cuadriláteros, el trazado de las hélices y espirales y en las dimensiones generales del modelo.

Sin embargo, la verificación del sistema de generación en sí mismo pudo lograrse solamente en relación con las tendencias analizadas en dos de sus elementos esenciales:

- a) las relaciones de proporción en altura de los cuadriláteros en proyección ortogonal y
- b) la estabilidad en las figuras de los hexágonos.

La primera de estas tendencias está directamente vinculada con el punto clave del proceso de generación que desarrollamos en el Capítulo VI y que tiene que ver con el estudio del sistema de reducción proporcional de los cuadriláteros. La segunda, en cambio,



afecta a la figura básica de generación que se encuentra en el esquema de trazado inicial.

Antes de comenzar con el estudio comparativo de los modelos, conviene hacer una advertencia respecto al código gráfico general que vamos a utilizar en este caso.

En todo el conjunto de planos dedicados al proceso de comparación (identificados con la letra C), se adoptó el criterio básico de representar el modelo teórico con un código de color que se mantiene igual para todos los planos de la serie. De esta manera, los elementos del modelo restituido aparecen como *base* gráfica del proceso comparativo, al que se superponen las siluetas del modelo teórico para una mayor claridad expresiva. Cuando resultó posible, los entornos de fluctuación fueron señalados con un área coloreada o tramada que permitiera una rápida lectura de la magnitud del gradiente. Siempre que haya sido necesario recurrir a los valores numéricos como referencia, estos aparecen identificados en el propio plano.

#### *La forma de los cuadriláteros.*

El estudio comparativo de la forma de las figuras de los cuadriláteros se divide en dos grandes sectores:

- a) análisis de las fluctuaciones de tamaño;
- b) relación entre las variaciones angulares.

La primera operación realizada consistió en la preparación de las series de cuadriláteros obtenidas del modelo restituido (Plano MR8) para su superposición con las equivalentes del modelo teórico. En esta nueva disposición han sido identificadas las unidades que presentan los valores extremos de tamaño dentro de cada grupo de hileras horizontales y eliminadas las restantes. De esta manera, mediante el cálculo de las áreas equivalentes al diedro contenido en los cuadriláteros, se seleccionan los elementos que, en cada grupo, constituyen los valores mínimos y máximos de tamaño. Sobre estas nuevas series así creadas se superponen las series prototípicas del modelo teórico, obtenidas de la manera en que se describe en el Capítulo VI y que puede verse en el Esq.6 de dicho capítulo. En este caso, las unidades fueron superpuestas individualmente en relación al eje vertical de control y al punto medio de la diagonal horizontal de cada cuadrilátero. De esta manera, era posible una visualización de cada elemento teórico en relación a los valores extremos de los equivalentes en el modelo real. En el Plano C1 puede verse el resultado de esta superposición, en donde los cuadriláteros en color representan los patrones teóricos y la zona tramada el entorno de fluctuación dimensional.

En estos esquemas es posible visualizar inmediatamente una tendencia más o menos generalizada en todo el proceso comparativo: a medida que se va ascendiendo en las series de cuadriláteros, los tamaños de las unidades del modelo real crecen aceleradamente respecto al teórico comparado. A pesar que en los cuadriláteros de los grupos Q1, Q2 y

Q3 las dimensiones se mantienen más o menos constantes, en las unidades siguientes comienza a manifestarse con mucha nitidez este aumento progresivo de los tamaños. Esta misma tendencia puede observarse respecto a las alteraciones de la forma que experimentan las unidades a medida que reducen su tamaño. Por regla general las deformaciones de los cuadriláteros se incrementan conforme se van reduciendo los mismos. Este fenómeno -que tiene su lógica constructiva- registra alguna excepción notable a la tendencia general, como es el caso de los cuadriláteros del conjunto Q4, que presentan una gran deformación respecto al sitio que ocupan en la serie. Es de destacar, sin embargo, que en todos los casos las alteraciones en la forma conservan una cierta tendencia la simetría respecto los centros de los cuadriláteros.

Como una excepción ciertamente curiosa puede destacarse la excesiva distorsión de forma y tamaños que presentan los triángulos de la base del sombrerete (el grupo T0), que por su ubicación deberían ser mucho más homogéneos.

El otro tipo de control importante para determinar el grado de estabilidad de las figuras de los cuadriláteros es la evaluación de las diferencias angulares entre las unidades de un mismo grupo. Desde un punto de vista estricto, para tener un control absoluto de todas las variaciones angulares en juego deberíamos considerar no sólo las del cuadrilátero en sí mismo sino, además, las que resultan de su posición en el espacio de la chimenea. Aparte de los ángulos propios de cada unidad, se deberían tener en cuenta, además, los de cada uno de sus vértices y el que forman los planos del diedro entre sí.

Los ángulos derivados de la posición espacial de los cuadriláteros, en cambio, serían las rotaciones que se producen en el plano vertical y horizontal, así como los desplazamientos de un centro teórico.

En relación con los objetivos globales del estudio comparativo, y dada la complejidad de un estudio detallado de este tipo, en este caso fueron analizadas las dos formas de variaciones angulares que consideramos más significativas:

a) la producida por la rotación de los cuadriláteros respecto a la diagonal horizontal en el plano vertical de referencia;

b) la generada por las diferencias entre los ángulos de las caras del diedro de cada cuadrilátero.

Estos dos tipos de oscilaciones angulares ya habían podido ser detectados en el estudio del modelo restituido que puede verse en el Plano MR8 y, por tanto, bastaba con establecer las relaciones adecuadas con el modelo teórico. Para ello se procedió de la misma manera que anteriormente, aislando los valores máximos y mínimos de los miembros representativos de cada serie. En este caso, sin embargo, se tuvieron que llevar

a cabo dos operaciones distintas sobre cada serie, en relación a los dos tipos diferentes de ángulos analizados.

En el Plano C2 se observa como en el primer par de series, visualizadas frontalmente, podíamos evaluar la inserción del cuadrilátero teórico en relación a los ejemplos de máximo y mínimo ángulo de rotación. Como en el caso anterior, el intervalo entre ambos valores extremos queda expresado gráficamente mediante la inclusión de una zona tramada dentro del entorno de fluctuación.

En el mismo Plano C2, las dos series proyectadas lateralmente nos permitían considerar, en cambio, el fenómeno de variación angular respecto a la apertura del diedro cuando se relacionan con el ángulo constante que poseen los cuadriláteros teóricos.

En relación con los valores comparativos de la rotación frontal que experimentan los cuadriláteros en las distintas series, se vuelve a constatar la tendencia a una progresión en la discrepancia de los valores angulares a medida que subimos en la escala de alturas. Salvo las excepciones de los grupos de unidades Q4 (cuyas rotaciones son más fuertes que la tendencia general) y Q11 (que presentan valores excesivos), el resto de los cuadriláteros reflejan perfectamente esta particularidad ya observada en otras comparaciones.

En relación con el valor constante del modelo teórico, los valores angulares correspondientes a los planos del diedro que forman los cuadriláteros siguen las tendencias más o menos generales ya comentadas. Sin embargo, es importante destacar que, en este caso, las desviaciones resultan un poco más constantes a lo largo de todos los miembros de las series. Nuevamente, los grupos Q4 y Q11 son los que presentan las alteraciones más notables.

De la misma manera que los cuadriláteros experimentaban la rotación frontal ya analizada, se podían detectar en los alzados laterales los movimientos producidos sobre el plano de perfil. Estas rotaciones, que denominaremos *laterales*, no siguen una tendencia tan clara como las frontales, y presentan la singularidad de casos aislados como los que pueden localizarse en los grupos Q5, Q7, Q9 y Q8.

### *El cono y las espirales.*

En la sección del Capítulo V, dedicada a las hélices, hablábamos de la importancia teórica que tiene la definición del cono circunscrito del sombrerete y el trazado de las hélices que se inscriben en él. Es necesario, sin embargo, reiterar el carácter puramente especulativo que tiene esta operación. En efecto, sabemos que el cono y las hélices como tal no existen en la superficie de la chimenea, y que los únicos elementos geométricos que comparten con el modelo son los vértices de la red poligonal, en donde coinciden los puntos de paso de las hélices y las generatrices de este cono. Este artificio teórico, como

veremos más adelante, no sólo tiene una finalidad conceptual sino que, además, adquiere importancia en cuanto a que define a las hélices como *figuras latentes* en la propia estructura geométrica de la chimenea.

Sin embargo, la introducción de estos modelos dentro del procedimiento comparativo puede comportar unos equívocos que conviene aclarar. En primer lugar se debe diferenciar claramente una operación de este tipo del resto de los estudios comparativos llevados a cabo con el modelo. En este caso no estábamos comparando formas reales, sino componentes abstractos que en el modelo restituido no existen, al menos explícitamente. Se ha de tener claro, entonces, que los instrumentos de análisis en uno y otro caso serán también diferentes, ya que la relación comparativa se produce ahora entre una figura ideal y una figura *implícita* en el modelo restituido, pero que en realidad no existe.

En el ejemplo de los cuadriláteros estaba claro que se trataba de una comparación directa en relación a una aproximación física con el modelo ideal y, por tanto, muy diferente conceptualmente de este caso. No obstante, y como veremos inmediatamente, la relación entre estas abstracciones nos permite sacar otras conclusiones de cierto interés.

Como se pudo ver en el Plano MR14, la forma adoptada por las distintas aproximaciones a las circunferencias directrices que pasaban por los puntos de la poligonal, nos permitía intentar unas primeras reflexiones acerca de las tendencias en la deformación del modelo restituido. De esta manera, la configuración del cono que circunscribe al modelo se transformaba en un *registro gráfico* que ilustraba los desplazamientos o desviaciones producidas en la situación espacial de cada uno de los vértices de la poligonal. Ahora, al contar con un modelo que reproduce exactamente las circunferencias generatrices del cono, es posible precisar con un mayor rigor geométrico la magnitud de estas desviaciones.

En el Plano C3 se ha superpuesto un esquema ideal de las distribuciones de las circunferencias proyectadas en planta al diagrama del modelo restituido obtenido en el Plano MR14. De esta manera, se pueden visualizar en un único dibujo las trayectorias de cada una de las 13 curvas y relacionarlas con sus correspondientes circunferencias ideales. En este caso el método de comparación se basa exclusivamente en el código gráfico, habida cuenta de la complejidad matemática que comportaría una relación numérica entre una curva alabeada y una circunferencia. Un proceso de este tipo, que involucra demasiados parámetros interrelacionados, resultaría desproporcionado en relación a los objetivos fijados.

Lo primero que salta a la vista en la observación del dibujo es la evidente diferencia en el desarrollo de los intervalos de separación entre las anillas, que en modelo teórico se suceden con una mayor *aceleración* que en el modelo real. Si consideramos que en la circunferencia de partida las diferencias entre una y otra curva son mínimas, es lógico pensar que la modificación de intervalos producida de esta manera esté indicando una

pendiente diferente en los conos envolventes de uno y otro modelo. Efectivamente, en una primera observación puede comprobarse que -salvando unos puntos específicos de deformación que se sitúan en el entorno de las circunferencias números 4 y 7- los valores de reducción de las separaciones son más o menos proporcionales para el propio modelo restituído. Estas separaciones resultan, al mismo tiempo, mayores para el modelo teórico que para el real, por lo que, lógicamente, el cono generado en este caso resulta más pronunciado y acaba con un orificio de truncamiento de diámetro sensiblemente inferior.

Esta divergencia en la forma de ambos conos de referencia, que será confirmada en estudios posteriores, tendrá importantes implicaciones en la interpretación de la generación geométrica de la chimenea y su relación con los temas constructivos.

Otro fenómeno interesante que puede observarse en este diagrama es la tendencia a la pérdida de la estabilidad de las figuras en sí mismas a medida que van reduciendo sus tamaños. Esta peculiaridad -ya detectada en el modelo restituído- queda aquí puesta en evidencia en relación a las circunferencias. En el dibujo puede verse como, a partir de la curva número 3, ya se produce una primera distorsión de cierta consideración, que se acentúa drásticamente a partir de la número 7 y se sostiene hasta el final. Estas variaciones quedan indicadas en el Plano C3 mediante un tratamiento gráfico de las zonas de deformación creciente.

Es de destacar, sin embargo, que el tipo de deformación producida en las aproximaciones a las circunferencias directrices no siempre es el mismo. Siguiendo la trayectoria de las curvas, se puede comprobar que en algunas existe una distorsión más o menos repartida a lo largo del trazado, mientras que en otras las desviaciones son muy puntuales y están relacionadas generalmente con los puntos de paso de las generatrices. De esta última tendencia son claros ejemplos las curvas que pasan por las generatrices g5 y g8, en donde los puntos tienden a superponerse unos sobre otros, indicando alteraciones en la pendiente debidas, probablemente, a ciertas desviaciones en el trazado de los puntos en obra.

Otro de los temas que puede seguirse en este Plano C3 es el control de la estabilidad de las generatrices. Como vimos en el estudio del modelo restituído, las líneas poligonales que representan las generatrices del cono exterior acentuaban sus desviaciones al ser proyectadas en planta. Ahora, al superponerse con las generatrices teóricas, es posible evaluar, además, sus posiciones espaciales y las relaciones del conjunto. De esta superposición puede inferirse que existe una zona muy concreta de la superficie en donde las desviaciones en la trayectoria de las generatrices son más pronunciadas que en el resto.

Las generatrices que experimentaban una mayor desviación eran las g0, g1 y g2, que son precisamente contiguas entre sí y definen un área de deformación bastante pronunciada. Esta distorsión, junto a otros fenómenos de desviación, provoca un desplazamiento de la parte superior del cuerpo del sombrero. Este desplazamiento se

puede comprobar comparando los orificios de salida de la chimenea en ambos modelos. A pesar de que la curva del modelo real parece bastante estable en cuanto a su trazado, se encuentra, sin embargo, considerablemente desplazada del centro de referencia. Estamos aquí nuevamente con toda probabilidad frente a un problema de ejecución en obra en donde, por un motivo desconocido, se ha alterado la simetría teórica del modelo.

El control matemático de las desviaciones de las espirales provenientes de la proyección de las hélices, es un tema de cierta complejidad que, en este caso particular, no será abordado debido a la escasa trascendencia que tiene para los objetivos de la investigación. De igual manera que para el estudio del cono, se trata en este caso de una comparación alejada de todo contenido estadístico. Una vez determinada la filiación geométrica de estas curvas en el modelo teórico (Capítulo VI), ahora sólo interesaba sacar ciertas conclusiones de índole conceptual.

Para evaluar el trazado comparativo de las doce espirales que componen la planta del sombrerete, nos valemus inicialmente de una operación de aislamiento de las unidades del modelo restituido según su sentido de movimiento. De esta manera se obtienen los dibujos que pueden verse en el Plano C4, en donde las unidades aparecen en la exacta posición espacial que tenían en el modelo original.

Es posible definir ahora dos esquemas en donde quedan identificadas separadamente las espirales de sentido derecho e izquierdo y donde es posible seguir la evolución de sus trazados con claridad (Plano C4).

En una primera evaluación visual de los dos grupos de curvas es posible detectar unas distorsiones que siguen más o menos los parámetros generales ya comentados en el modelo del cono. En líneas generales, se mantiene la tendencia de una mayor deformación cuando las curvas se aproximan al centro, en correspondencia con la deformación de las pseudocircunferencias del Plano C3. De igual manera, los puntos de paso por ciertas generatrices, como las  $g_0$  o  $g_8$ , *arrastran* a los puntos de las espirales produciendo una deformación muy localizada de sus trazados. Las zonas en donde el trazado de las espirales presenta una mayor distorsión han sido tratadas gráficamente, tal como puede verse en el plano C4.

Para llevar a cabo el estudio de la forma genérica de las curvas en relación con el trazado del modelo ideal, fue necesario efectuar una segunda operación. Separadas en los esquemas ya comentados, se realizó una superposición de todas las unidades de cada serie, manteniendo indicada la posición relativa de sus puntos de paso. Así, era posible visualizar en un único dibujo las trayectorias de todas las curvas con un mismo sentido de giro. Sobre este esquema se realizó posteriormente la superposición de la espiral resultante del modelo teórico, conjuntamente con sus ejes de referencia y los puntos de paso proyectados en planta, obteniéndose un dibujo como el que puede verse en el mismo Plano C4.

Estos esquemas nos permiten, por una parte, la visualización conjunta de las

diferencias en los trazados de las espirales de uno y otro grupo, pero, además, nos ofrecen la posibilidad de comparar la trayectoria de estas curvas en relación al modelo de referencia. En este sentido resulta evidente la comprobación de la tendencia de modificación de la pendiente del cono, ya analizada en el Plano C3. La consecuencia inmediata de esta alteración en el modelo real es el trazado de una curva mucho más abierta que la del modelo teórico. Sin embargo, al mantener la nueva pendiente del cono una cierta uniformidad, se obtienen unas curvas que comparten prácticamente las mismas propiedades geométricas que la curva teórica, salvando, claro está, las fluctuaciones de trazado comentadas más arriba.

Es posible, entonces, comprobar una cierta constancia de las relaciones angulares de la curva con sus radios vectores que, como sabemos, representan en proyección las propias generatrices del cono. Este tema -desarrollado en el Capítulo VI cuando hablábamos de las hélices en el modelo teórico- nos permite deducir que las hélices resultantes del modelo restituido son aproximaciones a curvas loxodrómicas, sólo que con un trazado ligeramente diferente al teórico al cambiar la pendiente del cono<sup>1</sup>. Por el mismo motivo, las curvas que se proyectan en planta tenderán a definir espirales logarítmicas, tal como quedaba definido en el modelo teórico.

En el mismo Plano C4, aparecen marcados los puntos de paso de todas las espirales en uno y otro sentido de giro, de manera tal que pueda seguirse la evolución de los desplazamientos de dichos puntos en relación a los teóricos. En el esquema aparecen dibujadas, además, las generatrices del cono ideal que determinan dichos puntos de paso y que, como hemos dicho, representan los radios vectores de las espirales proyectadas en planta.

### *El proceso de generación.*

Uno de los aspectos más interesantes de este procedimiento de comparación es, sin duda, la verificación del propio proceso de generación geométrica de la chimenea y las desviaciones producidas en su aplicación a un modelo real. Para llevar a cabo este análisis, se trabajó con los mismos recursos geométricos que dieron origen a la propia generación del modelo, es decir con la aplicación sistemática del estudio de las *figuras sintéticas* que proponía el sistema diédrico.

El esquema de trabajo consistió en dos bloques bien diferenciados: por un lado se llevó a cabo un estudio comparativo de las escalas de reducción en altura de los modelos

---

<sup>1</sup> Si se mantiene la condición de constancia angular entre las generatrices y las tangentes a la curva, existirá una curva loxodrómica específica para cada pendiente del cono. En otras palabras, habrá tantas hélices loxodrómicas como pendientes tengan sus conos.

y por otro un análisis de las figuras generadoras representadas por los hexágonos proyectados en planta.

En el primero de estos estudios fueron superpuestos ambos modelos en una posición convencional de análisis en alzado, obteniéndose el dibujo del Plano C5. En una visualización del conjunto se hace evidente de inmediato el problema de las diferentes pendientes del cono envolvente y el desplazamiento hacia un lado del cuerpo de la chimenea.

En este esquema se puede comprobar, además, un considerable aumento en la altura total del modelo real respecto al teórico. Este es un fenómeno interesante de analizar porque, en alguna medida, aporta un dato de interés en relación a la interpretación de las causas que pudieron haber producido las distorsiones en el modelo.

En primer lugar, resulta ilustrativo cotejar los valores de las dos escalas de reducción progresiva que han sido consideradas hasta el momento; es decir, la escala de los valores promediados en el modelo restituido y la escala que resulta del trazado teórico del perfil de la chimenea. En esta relación se puede comprobar que los valores de las alturas en el modelo restituido experimentan un cambio de tendencia significativo. En efecto, en esta comparación, las primeras alturas del modelo real resultan algo inferiores que las teóricas correspondientes, equilibrándose rápidamente alrededor de las tercera hilera de cuadriláteros, para cambiar inmediatamente de tendencia y comenzar a aumentar hasta alcanzar el punto más alto en la línea número 12. De esta manera, las escalas tienden a encontrarse en un punto común respecto a la línea base -que se sitúa entre las líneas 4 y 5- para después diferenciarse definitivamente.

Otro de los aspectos significativos de la comparación entre las escalas es la comprobación de que las alturas de las últimas tres hileras de cuadriláteros crecen de una manera notablemente mayor que el resto respecto a la escala teórica. Tanto este último fenómeno, como el cambio de tendencia mencionado anteriormente, quedaban reflejados con bastante claridad en el estudio singularizado de las dimensiones de los cuadriláteros del Plano C1 y ahora adquirirían un significado más global al ser relacionados con los problemas de la forma del cono exterior. Ambas tendencias pueden verse graficadas en el propio Plano C5.

En síntesis, la figura del sombrero experimentaba un discreto incremento en su altura total respecto al modelo teórico y se confirmaba definitivamente la diferencia entre las pendientes de ambos conos a partir de las siluetas de los modelos comparados en alzado.

El resultado de estas observaciones nos lleva inmediatamente a intentar una primera justificación de las alteraciones producidas en el modelo real.

La primera conclusión que se desprende de este análisis es que, evidentemente, el problema no puede ser otro que el de una cuestión de índole operativa ligada al propio proceso constructivo de la chimenea. La validez del propio método de generación era una



cuestión que, a estas alturas de la investigación, ya estaba fuera de toda duda: las proporciones de los cuadriláteros eran las correctas y la planta del modelo restituía con claridad las figuras de los trece hexágonos. No obstante, resultaba bastante difícil elaborar una hipótesis coherente respecto al significado de estas desviaciones.

La primera idea que aparecía tenía que ver con la dificultad para conformar un cono demasiado esbelto mediante la técnica de tabicados cerámicos, lo que justificaba la modificación de la pendiente durante el proceso de obra y las alteraciones posteriores en las proporciones. Sin embargo, para diámetros iniciales de base prácticamente iguales, el número total de los hexágonos inscritos en planta era, en ambos modelos, exactamente el mismo. Esta circunstancia nos remitía forzosamente a intentar buscar la respuesta en la evaluación de las figuras contenidas en la propia planta generadora.

Para el estudio de las oscilaciones de forma y dimensión de cada una de las figuras proyectadas como hexágonos en el esquema de la planta, fue necesario segregar todas las unidades contenidas en el modelo restituído y superponerles los hexágonos equivalentes del modelo teórico. El proceso se realizó tomando como punto de referencia común para todos los pares el origen representado por el centro O, tal como puede verse en el Plano C6. En este plano se dibujan, además, las circunferencias circunscritas a los hexágonos teóricos y se indica con una zona tramada las diferencias de tamaño entre las unidades.

De esta primera relación entre las figuras se pueden deducir dos características peculiares. La primera de ellas tiene que ver con las tendencias observadas en los estudios anteriores, en donde las unidades del modelo restituído experimentan un aumento de sus tamaños respecto a los correspondientes del modelo teórico. La segunda, en cambio, denota un desplazamiento de las figuras restituídas en relación a su propio centro.

El aumento de las dimensiones de los hexágonos tiene una correspondencia lógica con el cambio de la pendiente del cono y con el resto de particularidades ya comentadas anteriormente. De igual manera, el aumento de las diferencias de tamaño entre las unidades de ambos modelos se justifica por la relación proporcional que las involucra, en el que se van *arrastrando* las diferencias acumuladas en cada giro de los hexágonos.

La segunda de las características de este comparativo está relacionada también con un problema ya detectado en el estudio del cono. Efectivamente, al analizar los trazados de las distintas circunferencias directrices, ya observábamos entonces este desplazamiento de toda la volumetría de la chimenea respecto al centro de origen, fenómeno que creaba una leve asimetría del modelo. Estas particularidades, no obstante, dejaban sin aclarar la causa del importante aumento de tamaño en los componentes de la serie hexagonal.

La única respuesta posible a este interrogante estaba, indudablemente, en la propia forma de las figuras, en donde los lados de los hexágonos del modelo real presentaban notables inflexiones que los apartaban de la línea recta. Esta fragmentación de cada lado de los polígonos en dos rectas era producida en el punto de intersección con los vértices

de las figuras inscritas sucesivas. Salvo contadas excepciones, el sentido del desplazamiento es siempre centrífugo, es decir proyectado hacia afuera, lo que evidentemente produce un tamaño mayor del hexágono inscrito. En el estudio del modelo restituido en relación a la figura hexagonal dibujado en el Plano MR12, se podía intuir en alguna medida este problema que ahora, al entrar en relación con el modelo teórico, queda aún más en evidencia.

Esta deformación de los lados de las figuras, expresadas en la planta del modelo, significa en realidad que los planos superiores de los diedros de los cuadriláteros no son exactamente frontales al plano de proyección. Este fenómeno se traduce físicamente en una desviación del *plomo* de estas caras que, en teoría, debían ser perfectamente verticales.

El Plano C7 describe, en un único esquema, la relación entre todos los miembros de la serie de hexágonos del modelo real y del modelo teórico para una apreciación del conjunto.

Resta ahora, finalmente, considerar unas conclusiones generales acerca de los resultados de este procedimiento comparativo.

Tal como comentábamos al inicio de este capítulo, las posibilidades y los alcances del método propuesto aquí guardan una relación directa con los objetivos perseguidos. De esta manera, han sido dejadas conscientemente de lado otra serie de operaciones importantes, pero que en nuestro contexto carecen de interés teórico.

El objetivo principal del comparativo quedaba entonces perfectamente cumplido; se convalidaba un sistema de generación geométrica basado íntegramente en las figuras contenidas en un esquema y se comprobaba una adecuada relación proporcional de los cuadriláteros. El sistema tenía una lógica en sí mismo que derivaba naturalmente en un correlato constructivo. De esta manera, las características propias del método permitían una serie de especulaciones acerca de las posibilidades constructivas de la chimenea.

En relación a las desviaciones que experimentaba el modelo de estudio respecto al elaborado teóricamente, las conclusiones parciales confluían en una serie de rasgos más o menos comunes, que verificaban ciertas tendencias generales y que podrían resumirse así:

a) En un primer grupo tenemos un conjunto de fenómenos específicamente relacionados con el desarrollo en altura del modelo. Esta particularidad queda reflejada en las distintas comparaciones entre los módulos unitarios de crecimiento, tales como los cuadriláteros o los hexágonos de la planta. En todos los casos, el comportamiento seguido por estas unidades evidencia una tendencia común al aumento del tamaño y una cierta deformación a medida que se va subiendo en altura. Esta deformación pudo ser constatada en el estudio de las diferencias dimensionales y angulares, quedando reflejada claramente en el análisis del cono envolvente del sombrerete y las espirales resultantes de la proyección ortogonal.

b) En todos los estudios comparativos realizados sobre la proyección en planta de los modelos se revelaba un sensible desplazamiento del eje vertical de la chimenea, lo que creaba una leve asimetría del sombrero respecto a su propio centro.

c) Las escalas de crecimiento en altura de ambos modelos no coincidían en valores absolutos, aunque mantenían unas relaciones proporcionales más o menos equivalentes. Esta proporcionalidad sólo se alteraba visiblemente en el modelo restituído en los tres últimos valores de la escala, en donde presentaban un incremento relativo en la altura de las unidades. Del estudio de estas variaciones y de los tamaños relativos de las unidades se constata una alteración en la pendiente del cono exterior que afecta todo el conjunto, produciendo un incremento en el orificio de truncamiento y en la altura total del sombrero.

d) Los hexágonos que forman el esquema generador experimentan, conjuntamente con el aumento de sus tamaños, unas deformaciones características que alteran la definición geométrica de sus lados.

#### *El proceso constructivo.*

La consecuencia inmediata de estas conclusiones, derivadas de la comparación entre ambos modelos, es la de especular -al menos inicialmente- con el probable origen de las desviaciones producidas.

Tanto por las características físicas de las deformaciones como por la manera en que éstas se manifiestan en el propio modelo, estaríamos en condiciones de pensar que el origen de las desviaciones se relaciona directamente con problemas constructivos. Estos problemas pueden ser de distinta índole, pero normalmente se circunscriben a los temas de replanteo y de ejecución en obra.

Desde este ángulo operativo, las tendencias generales antes señaladas parecían confluir en algunos puntos comunes que permitían las primeras hipótesis constructivas de la chimenea. En general se trataba de demostrar la causa de las alteraciones producidas en la pendiente del cono y la altura total del objeto, los dos aspectos más relevantes del proceso de comparación de ambos modelos.

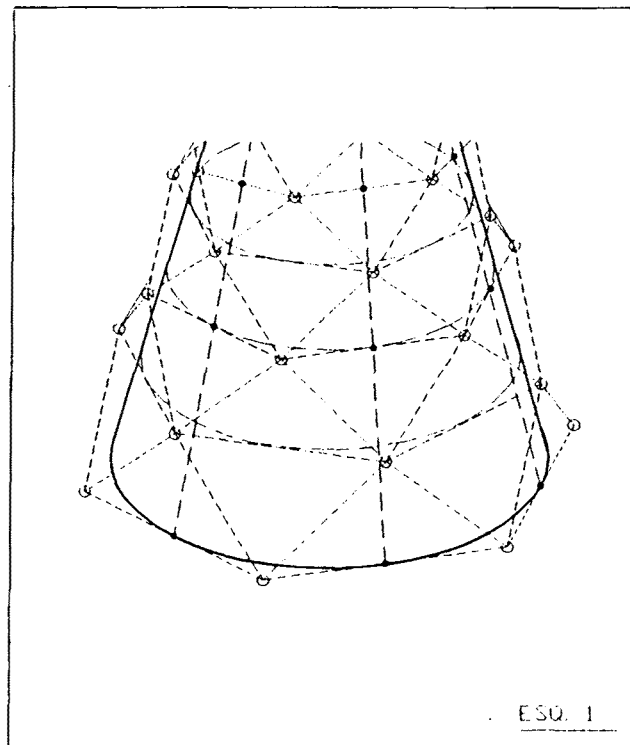
Asumida la construcción previa de un *cono base* en ladrillos (un hecho ciertamente irrefutable, derivado de la observación directa de la chimenea que ya fue comentado en el Capítulo IV), el problema consistía en encontrar una justificación técnica de la modificación producida en la forma del cono.

Considerando que los esquemas en planta de ambos modelos contaban con el mismo número de unidades hexagonales y, teniendo en cuenta la estrecha relación entre la planta

y la elevación que proponía el proceso de generación, las desviaciones producidas debían estar relacionadas con un problema de replanteo en los puntos de la poligonal o con deformaciones posteriores debidas a asentamientos u otras causas constructivas. Estas especulaciones estaban apoyadas en gran medida en las conclusiones del punto d), en donde se verificaba una distorsión de todo el esquema en planta del modelo restituido.

Aunque no sea una finalidad explícita de la tesis, vale la pena -aún a riesgo de parecer superficial- esbozar algunas hipótesis de generación constructiva porque ayudarán a comprender el propio sistema generativo de la chimenea.

En primer lugar, es necesario aclarar que el *cono base* utilizado para la construcción no es el mismo que el cono circunscrito estudiado en el análisis geométrico. Si este último quedaba definido por las sucesivas circunferencias generatrices circunscritas a los hexágonos, el cono *constructivo* quedaba, en cambio, materializado por las circunferencias inscritas a los mismos hexágonos anteriores (Esq.1). Esto equivale a decir que las circunferencias directrices de este cono serán tangentes a las rectas definidas por los diedros de los cuadriláteros y, por lo tanto, los puntos de paso de la poligonal estarán siempre fuera de la superficie de dicho cono. En resumen, se trataría de crear una *preforma* que sirviera de base geométrica y estática a partir de la cual, por adición de un material plástico como el mortero, se iría definiendo toda la superficie.



El problema consiste ahora en imaginar la manera en que se pudieron haber trasladado los puntos del esquema hexagonal a la superficie de este cono base, de acuerdo con el procedimiento de generación estudiado. En este punto las posibilidades se diversifican y no contamos con elementos de referencia suficientes como para saber realmente cuál pudo haber sido el método de replanteo empleado por Gaudí. De todos modos, teniendo en cuenta la modalidad de trabajo del arquitecto y las hipótesis sostenidas a lo largo de esta investigación, podríamos afirmar que el método empleado fue un sistema de trazado directo -un poco a modo de *montea*- sobre la propia superficie del cono tabicado. De ser así, el procedimiento de replanteo podría basarse en dos principios posibles:

- a) mediante la proyección ortogonal de los puntos del esquema;
- b) mediante el uso de plantillas u otro tipo de adminículos de obra.

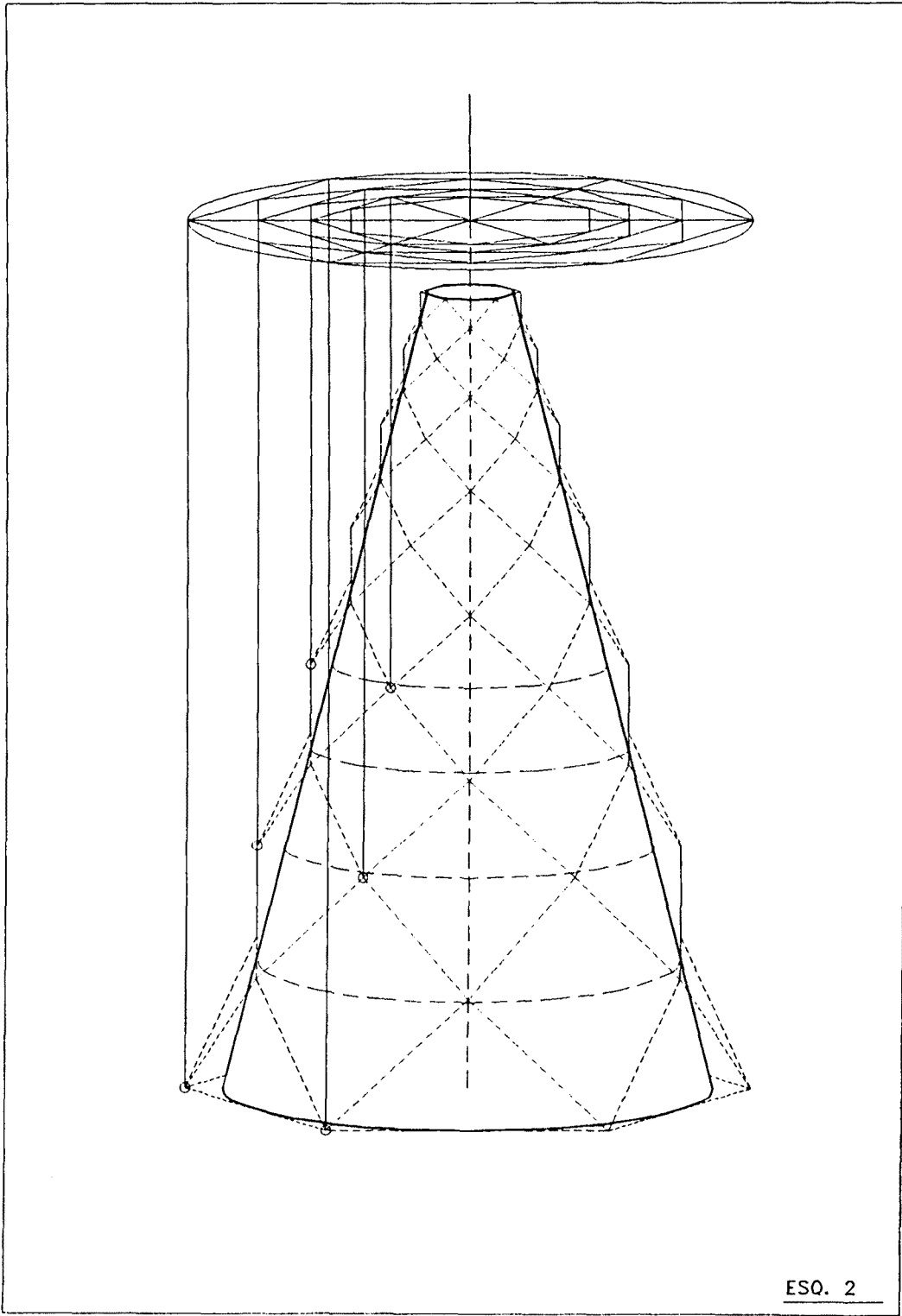
En el primer caso, ilustrado en el Esq.2, sería necesario contar con un esquema en planta dibujado a tamaño natural que se colocaría en el orificio de salida de la chimenea, debidamente centrado según el propio eje del cono. De esta manera sería posible ir *bajando* verticalmente los puntos de los vértices de los hexágonos hasta que se encuentren con sus correspondientes líneas de altura. Este traslado de puntos podría materializarse simplemente por medio de plomadas o con elementos rectilíneos colocados en posición vertical. Para facilitar las tareas, y a modo de verificación, podrían replantearse sobre la superficie del cono las generatrices rectas que pasan por el centro de los cuadriláteros y las directrices circulares a las alturas correspondientes.

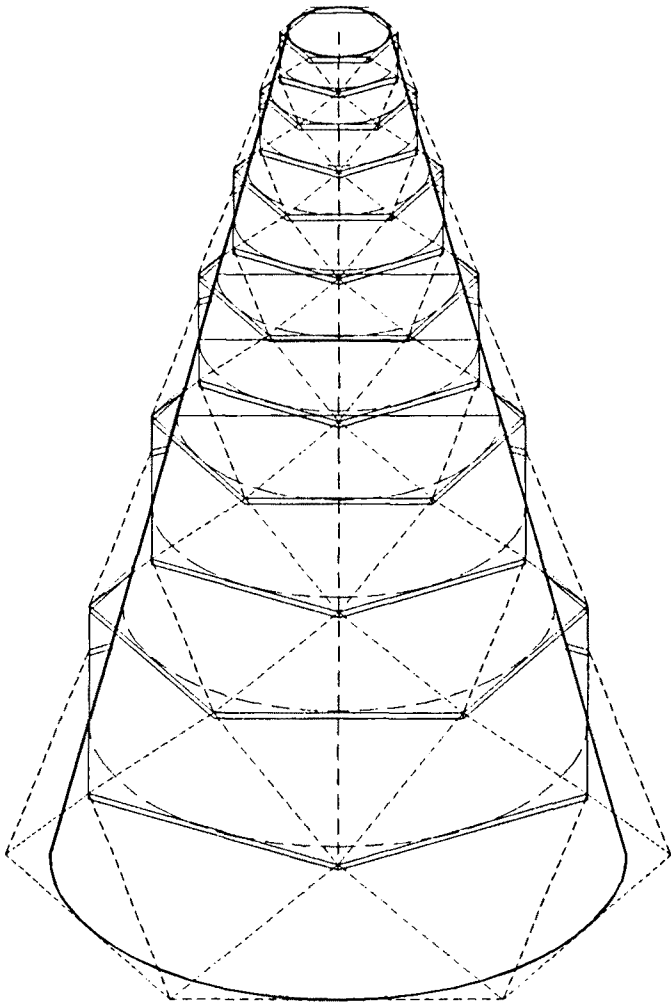
El inconveniente evidente que presenta este método es el tener que ubicar físicamente unos puntos que en realidad no se encuentran en la propia superficie del cono (no olvidemos que éste es un cono inscrito), lo que requeriría, con toda probabilidad, de unos trabajos complementarios previos al trazado.

El Esq.3 muestra, en cambio, la segunda posibilidad de ejecución enunciada más arriba. Aquí el procedimiento se reduciría a la creación de unas *plantillas* de cierta peculiaridad. A partir del mismo esquema hexagonal, en escala natural, se fabricarían unas plantillas capaces de materializar el perímetro de cada uno de los hexágonos de la serie.

Construidas con zunchos o con alambres debidamente tensadas, estas plantillas podrían introducirse ordenadamente de mayor a menor desde el extremo superior del cono hasta quedar *retenidas* en un punto que es por donde pasa la circunferencia inscrita a cada hexágono, o sea la altura adecuada. Estas plantillas, correctamente orientadas en el plano horizontal, determinarían en sus vértices los puntos de paso de la poligonal y quedarían incorporadas a la masa del mortero, con el que serían rellenados posteriormente los intersticios resultantes.

Una vez delimitadas sobre la superficie del sombrero todas las líneas rectas de la red poligonal a partir de la unión de los puntos obtenidos, se procedería al *rellenado* de los





ESQ. 3

cuadriláteros y al modelado de las superficies alabeadas contenidas en sus límites. Estas superficies, como ya se ha comentado anteriormente, podrían ser conformadas mediante un *regleado* de la masa de mortero, deslizando dicha regla en dos lados opuestos de cada cuadrilátero.

Este último método, de aparente sencillez y eficacia, cuenta además con otros antecedentes en la propia producción constructiva de Gaudí, siempre proclive a la utilización de las plantillas en obra como un recurso operativo y eficaz.

Entre estos antecedentes, quizá uno de los más conocidos por su difusión sea el de la aplicación de un método en base a plantillas deslizantes para la construcción de las columnas de la Sagrada Familia. En la descripción del procedimiento que hace Joan Bergós en su biografía del maestro, se explican los distintos modos de generación para cada tipo de columnas. Mediante los dibujos de secciones sucesivas de la columna del cimborio mayor, Bergós relata la manera en que se generaron dichas columnas por medio de la utilización de dos plantillas iguales de forma estrellada. Estas plantillas se iban girando simétricamente alrededor del centro hasta acabar en una sección perfectamente circular<sup>2</sup>.

Es sólo en relación con este sentido expresamente dinámico que Gaudí entendía la utilización de las plantillas en obra y con el que, seguramente, emprendió la construcción de nuestra chimenea<sup>3</sup>.

Una vez esbozadas estas propuestas de generación constructiva, estamos en condiciones de retomar el origen de nuestras dudas respecto a las desviaciones observadas en la configuración física de la chimenea.

El tema principal seguía siendo la modificación de la pendiente del cono, fenómeno que implicaba a su vez un cambio en la altura total del modelo.

Considerando que el esquema hexagonal de la planta y la forma del cono son dos factores íntimamente relacionados, cabía pensar que el cono base del trazado era, en principio, correcto y que la modificación de la pendiente se producía posteriormente. Si tenemos en cuenta que los puntos de la poligonal quedaban separados de la superficie del cono inicial y que las diferencias debían rellenarse con mortero, parece bastante sensato pensar que el origen de las desviaciones esté localizado justamente en esta masa de material que queda entre el cono inscrito y el circunscrito. En este sentido, los desplazamientos de los puntos podrían haberse originado tanto en la etapa del replanteo como por movimientos del material durante la ejecución y en el fraguado posterior. Esta última posibilidad no parece tan improbable si consideramos que uno de los problemas detectados en el proceso comparativo fue, justamente, la deformación de las figuras hexagonales de la planta. En esta planta, la ruptura de los lados de los hexágonos indicaba claramente un *empuje* de los

---

<sup>2</sup> BERGÓS, Joan, *Gaudí, l'home i l'obra*, Barcelona, Ariel, 1954, pp.124-125.

<sup>3</sup> Ver Fig.16 del Capítulo VIII.



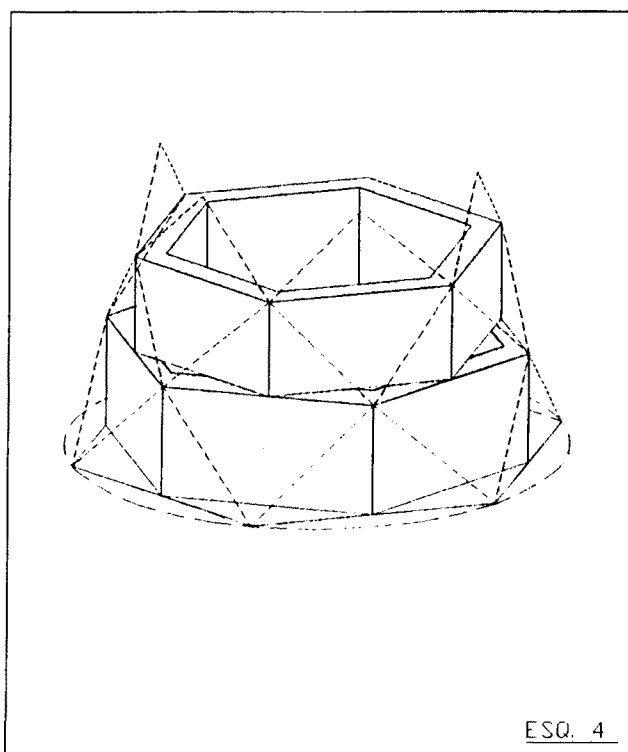
vértices de las figuras inscritas sobre estos lados, lo que significa un *desplome* de los lados superiores de los cuadriláteros que, en teoría, debían ser perfectamente verticales.

Estas desviaciones pueden verse claramente en los planos MR9 y MR12 y son, efectivamente, las responsables de la modificación de la pendiente del cono exterior.

Si a estos factores agregamos los típicos errores humanos de ejecución y el hecho particular de la complicación que significa el trabajar con las figuras más pequeñas del sombrerete, podemos justificar plenamente las desviaciones producidas.

Finalmente, y a modo de *scherzo gaudiniano*, podríamos proponer un método constructivo para esta chimenea. Sabemos de antemano que este método no fue utilizado nunca por Gaudí. No obstante, resulta interesante porque ilustra perfectamente el método de generación geométrica analizado.

Empleando la misma técnica constructiva en base a ladrillos tabicados, podríamos materializar la forma del sombrerete *levantando* las figuras hexagonales de la planta mediante tabiques, cuyas alturas se correspondan con los puntos de paso de la poligonal. De esta manera los tabiques hexagonales girados entre sí se irían apoyando unos sobre otros hasta alcanzar el extremo superior de la chimenea. El Esq.4 intenta ilustrar esta propuesta ciertamente atípica pero que presenta, sin embargo, un contenido altamente didáctico.



## CAPÍTULO VIII

### APLICACIÓN Y CONTINUIDAD DEL MÉTODO GENERATIVO

#### *Geometría dinámica.*

En 1921, el arqueólogo noruego F.M. Lund publicó *Ad Quadratum*<sup>1</sup>, un importante estudio acerca de las estructuras geométricas que sustentan una buena parte de las obras arquitectónicas de la Edad Media. En este libro se propone un análisis bastante desmitificador acerca del papel que juega la geometría en los trazados de proporciones. Para Lund, la base geométrica de la arquitectura gótica se reduce a unas pocas figuras elementales como el cuadrado, el triángulo equilátero o el pentágono. Su postura frente a un tema tan intelectualizado desde el Renacimiento, fue continuada por otros estudiosos como Shelby o, más recientemente, por el ya citado Roland Bechmann en sus trabajos sobre el cuaderno de Villard de Honnecourt<sup>2</sup>.

Lo que estos estudios proponen es la idea de una arquitectura concebida y ejecutada mediante simples procedimientos de origen claramente geométrico, en contra de toda una argumentación basada en operaciones de proporciones numéricas y trazados excesivamente complejos. Desde esta perspectiva, la geometría deja de convertirse en un juego especulativo para transformarse en una poderosa herramienta de la construcción arquitectónica. Para los artesanos medievales, entonces, el concepto *geometría* se limitaba a un conjunto de instrumentos específicos y unas pocas figuras sencillas que revelaban todo un mundo de formas construidas.

Los procedimientos seguidos en esta *geometria fabroum* se basaban principalmente en la utilización de figuras muy simples que, mediante diversas operaciones, eran capaces de generar formas de una notable complejidad. El tipo de operación realizada podía variar en cada caso concreto pero, por lo general, consistía en la aplicación de alguna forma de movimiento a la figura inicial y al registro físico de este movimiento para determinar los trazados correspondientes. Así, vemos que en muchos casos estos movimientos no sólo estaban asociados a la propia generación geométrica de las figuras, sino que además tenían toda una lógica constructiva. El caso más claro de esta coherencia *geométrico-constructiva* lo encontramos en la construcción de bóvedas, tal como hemos visto en el Capítulo III de este trabajo.

Sin embargo, otra manera de generar formas a partir de esta idea del movimiento,

---

<sup>1</sup>LUND, F.M., *Ad Quadratum. Étude des bases géométriques de l'architecture religieuse dans l'Antiquité et au Moyen Age découvertes dans la cathédrale de Milan*, Paris, 1922. (1921)

<sup>2</sup>BECHMANN, Roland, *Villard de Honnecourt. Le pensée technique au XIIIe siècle et sa communication*, Paris, Picard Éditeur, 1993.

la podemos ver en la utilización de ciertas figuras elementales relacionadas directamente con sus proyecciones en planta y destinadas a la construcción de un edificio o de un fragmento arquitectónico cualquiera. Ejemplos de este tipo son frecuentemente citados por los autores antes mencionados. Lund nos habla de este concepto en sus análisis de las plantas de la arquitectura religiosa y Bechmann ofrece una gran cantidad de ejemplos de estas características a partir de su interpretación de los dibujos del cuaderno de Villard de Honnecourt<sup>3</sup>. Este tipo de procedimientos consistían por lo general en la aplicación de un movimiento de rotación sobre la figura base que, en muchas ocasiones, se combinaba con otro movimiento de desplazamiento en altura para generar el cuerpo tridimensionalmente. De esta manera era posible crear formas de una cierta complejidad con el único trámite de desplazar estas figuras en el espacio con arreglo a ciertas leyes de movimiento específicas. Las figuras-base eran, como hemos dicho, muy elementales. Incluso ciertas figuras bidimensionales, como los polígonos, se creaban automáticamente como resultado del movimiento inicial de estas propias figuras elementales. Así tenemos el octógono proveniente de los cuadrados girados, el hexágono de los triángulos equiláteros, etc. Estas figuras poligonales eran a su vez las encargadas de generar una mayor complejidad formal al desplazarse en el espacio.

De esta manera, la geometría se convertía en un instrumento esencialmente dinámico y operativo, vinculándose estrechamente con la propia realidad material de la arquitectura.

Gaudí era un arquitecto muy ligado a lo *concreto*, y el método que utilizó para edificar nuestra chimenea se identifica plenamente con esta idea de una geometría dinámica y aplicada a la propia realidad construida. Tal como hemos visto a lo largo de esta investigación, la generación de una forma de cierta complejidad, como la de nuestro ejemplo del sombrerete, se consigue con el único empleo de un elemental esquema de polígonos y con el movimiento de estas figuras en el espacio según una ley determinada. El método empleado por Gaudí será, pues, un método más apoyado en las *transformaciones* que en los propios elementos en sí mismo.

Una de las grandes ventajas que tiene un procedimiento racional y dinámico de este tipo es su posibilidad intrínseca de sistematización dentro de un proceso constructivo. Dado que en su configuración inicial este método es extremadamente simple, la sistematización

---

<sup>3</sup> Quizá uno de los ejemplos más interesantes en este sentido sea el de la interpretación que hace Bechmann de un esquema de Villard, en donde se indica la construcción de una *toor a chinc arestes* usada comunmente en el medievo como baluarte defensivo. El autor llega a demostrar que el esquema en cuestión -de una elementalidad extrema- describe en realidad el procedimiento geométrico para construir un pentágono con el único recurso del movimiento rotatorio producido por la figura de un cuadrado. (BECHMANN, R., op. cit., p.146)

en sí misma no corre el acostumbrado peligro de la mera reiteración repetitiva. La gran cantidad de variables que involucran las leyes de movimiento a las que son sometidas las figuras, otorgan un amplio margen para la libertad creativa y posibilitan un repertorio muy amplio de formas. A veces basta la sola alteración de una de estas variables, o simplemente el acento particular de algún rasgo del conjunto, para que el resultado final sea sorprendentemente diferente. Gaudí, un gran conocedor de las posibilidades técnicas y expresivas de este sistema, emplea en muchas ocasiones procedimientos generadores basados en estos mismos principios.

De esta manera, el método de generación formal utilizado por Gaudí para construir nuestro modelo, se revelaba simultáneamente como la clave interpretativa de todo el conjunto de las chimeneas del Palau Güell. Partiendo de unas pocas figuras elementales y con arreglo a un principio generativo común, el arquitecto lograba un repertorio sorprendente de formas que, conservando una cierta unidad esencial, manifiestan la más notable diversidad.

#### *Las otras chimeneas.*

El conjunto de las chimeneas del Palau Güell presentan, como hemos observado en el Capítulo IV, una gran exuberancia formal y un rico tratamiento en sus superficies. En aquel primer reconocimiento morfológico efectuamos una clasificación basada principalmente en criterios de tipo constructivo. Ahora, en cambio, ya estábamos en condiciones de reagrupar a las veinte chimeneas de la azotea según sus características geométricas. Esta nueva clasificación, surgida a la luz de las últimas conclusiones acerca del proceso de generación de nuestro modelo, tiene una justificación puramente ilustrativa, ya que se propone poner en evidencia unos principios de generación comunes para todas las chimeneas.

Desde este punto de vista, y centrando exclusivamente nuestro estudio en los sombreretes superiores de las chimeneas, podríamos considerar que las veinte unidades comparten tres rasgos geométricos esenciales, que pueden resumirse de la siguiente manera:

##### *1) Las unidades se construyen según un criterio de generación geométrica común.*

La base de la generación geométrica de todas las chimeneas es un sistema dinámico cuyas características esenciales fueron deducidas de nuestro ejemplo de trabajo. Este sistema tiene como principio básico el desplazamiento espacial de un grupo reducido de figuras elementales según determinadas leyes. Los movimientos producidos son, en la mayoría de los casos, rotaciones combinadas con desplazamientos en sentido vertical. En algunos ejemplos, no obstante, el proceso de generación se reduce al procedimiento más

habitual, característico de las superficies de revolución, consistente en la rotación de un elemento generador sobre una curva que funciona como directriz.

2) *Las unidades presentan un grupo muy reducido de figuras generadoras comunes.*

Como veremos enseguida, las formas esquemáticas de los sombreretes oscilan entre las distintas aproximaciones a las pirámides y a los conos. Estos cuerpos tienen en común unas figuras generadoras elementales, que podrían reducirse en su representación más sintética a cuatro entidades geométricas básicas: el círculo, el cuadrado, el hexágono y el octógono. Estas figuras podrían limitarse en realidad a tres si tenemos en cuenta que el octógono deriva, a su vez, del movimiento bidimensional del cuadrado.

3) *Las unidades poseen un repertorio de formas geométricas comunes.*

Entre estas características conviene destacar al menos dos rasgos distintivos importantes, debido a su implicación en la significación y expresividad formal de las chimeneas.

El primero de ellos tiene que ver con la idea del *movimiento helicoidal*, que puede asumir manifestaciones diversas según la característica particular de cada chimenea. Este movimiento puede quedar expresado bajo el trazado de una hélice, asumiendo la superficie de un helicoides o por la simple sucesión de elementos singulares.

El otro rasgo común, de gran importancia para el estudio de nuestro ejemplo en particular, es la expresión de las *relaciones de semejanza geométrica* y las series proporcionales establecidas entre los patrones modulares que se desarrollan en las superficies de los sombreretes. Estas semejanzas, derivadas de la propia configuración pseudo-cónica de los cuerpos, pueden manifestarse de diversas maneras. Así, es posible verlas en elementos derivados de la propia generación geométrica como los cuadriláteros, bajo la forma de cuerpos agregados a la superficie o como simples perforaciones de ventilación.

Como puede fácilmente deducirse, estas características distintivas de la geometría de las chimeneas son las que, a principios de esta tesis, definíamos como *formas arquetípicas* del mundo natural<sup>4</sup> y que, a la luz de estas consideraciones, adquieren una mayor relevancia.

Nos disponemos ahora a intentar una reagrupación del conjunto de las chimeneas para realizar unas breves observaciones acerca de sus filiaciones geométricas. Antes, sin embargo, es necesario hacer un par de advertencias importantes. La primera es la de aclarar que esta clasificación es puramente didáctica, ya que la mayoría de las unidades comparten, por lo general, más de una de estas características al mismo tiempo. La segunda, en cambio, concierne a un tema de índole metodológico.

---

<sup>4</sup> Ver Capítulo II, *Arquetipos naturales y cuerpos geométricos en Gaudí*.

Dado que un análisis geométrico del conjunto de las chimeneas del Palau Güell desbordaría el ámbito de esta tesis, es importante destacar que, en este caso, el estudio se limitó a un conjunto de observaciones puntuales. Estas referencias, por tanto, carecían del rigor metodológico desarrollado para el análisis de nuestro modelo. El estudio propuesto aquí consiste entonces en una serie de *comentarios visuales* de las chimeneas, que tiene como única intención demostrar las posibilidades de aplicación de un procedimiento generativo como el que acabamos de analizar. Queda, de esta manera, un interesante campo abierto a investigaciones futuras.

Teniendo como base la numeración adoptada en el Capítulo IV, podríamos considerar cuatro grupos básicos de estudio:

GRUPO A) Formado por las unidades 1,3,13 y 15, y tiene como característica fundamental la materialización y participación en el propio proceso generativo de un conjunto de series semejantes a partir de un determinado patrón modular.

GRUPO B) Tiene como rasgo esencial la expresión de un movimiento helicoidal y lo forman las chimeneas 2 y 7.

GRUPO C) Es el formado por las que adoptan las formas más aproximadas al cono y lo componen las unidades 5,8,10 y 11.

GRUPO D) Es el grupo más numeroso y tiene como elemento de referencia geométrica las distintas aproximaciones a la forma piramidal. Este conjunto se puede dividir a su vez en tres subgrupos según la forma adoptada por la figura de la base. Así, tenemos un primer grupo cuya base es un hexágono y que está compuesto por las unidades 4,12 y 14; un segundo de base octogonal con las chimeneas 9 y 17 y el último grupo, cuyos componentes tiene un cuadrado como base y que está constituido por las unidades 6,16,18,19 y 20.

Las chimeneas del grupo A, entre las que se encuentra nuestro propio modelo de trabajo, son las que mejor expresan el concepto generativo deducido a lo largo de esta tesis. En ellas se han utilizado como figuras generadoras distintas progresiones hexagonales, que han sido desplazadas en el espacio según una ley general y que presentan distintos matices para cada caso particular.

En la chimenea 3, por ejemplo, las semiesferas que se adhieren al cuerpo cónico de base están distribuidas según un patrón hexagonal decreciente, tal como se puede ver en la Fig.1. En este caso, al igual que en nuestro ejemplo, se generan dos secciones características (A y B) que son las que determinan las dos *series* de semiesferas que, con toda probabilidad, guardan unas relaciones de semejanza geométrica similares a las de nuestra chimenea. Dibujando un croquis de la planta se puede comprender mejor el trazado hexagonal que sirve de patrón geométrico del sombrerete y que se va alternando con un

giro de 30°. Las ménsulas, que salen del cuerpo cilíndrico del tronco de sostén, se encuentran *fundidas* en la primera hilera de semiesferas con el objeto de liberar los cuerpos iniciales. El remate es una pirámide hexagonal truncada.

El sombrerete de la chimenea número 1 que se ve en las figuras 2 y 3, es otro interesante ejemplo de generación hexagonal. Aquí, los dos contornos característicos de estudio A y B resultan muy diferenciados a pesar de que este sombrerete contiene el mismo principio generativo que nuestro propio ejemplo. Las dos fotografías de las figuras son muy explícitas al respecto. Según el punto de vista adoptado, el aspecto de la chimenea adquiere características muy diferentes. En este caso se trata de un juego combinado de cuadriláteros alabeados (como los que aislábamos en nuestro modelo teórico) y cuadriláteros planos, por lo que los perfiles resultantes adoptan alternativamente una configuración lineal o escalonada, tal como se interpreta en el dibujo de la Fig.2.

Otra de las particularidades interesantes de este ejemplo es el de la proporciones de la figuras resultantes. A diferencia del fenómeno de *acomodación* proporcional de los cuadriláteros que veíamos en el estudio de la chimenea número 13, en este caso las figuras no son totalmente *regularizadas* proporcionalmente por la propia escala de alturas. La simetría de los cuadriláteros alabeados (ahora materializados realmente como *diedros*) provoca inevitablemente una asimetría en los cuadriláteros planos que, tal como puede verse en la Fig.2, adquieren, de esta manera, una forma irregular.

Si bien la base de generación hexagonal es la misma que para nuestro modelo de referencia, aquí los planos superiores de los diedros no son paralelos al eje del cono circunscrito y, por lo tanto, el trazado del esquema base de la planta resultará diferente. Este esquema, cuyo croquis se ha intentado en la Fig.3, revela una situación en planta diferente para los vértices del diedro que, a diferencia de nuestro modelo, se dibujan ahora realmente como cuadriláteros. Esta chimenea ilustra claramente la potencialidad del sistema hexagonal, no sólo como recurso de una gran expresividad, sino también por la diversidad de formas que pueden obtenerse a partir de pequeñas alteraciones de la ley generativa inicial.

La unidad número 15 de las figuras 4 y 5 es, sin duda, la más cercana a nuestro modelo; presenta un juego de cuadriláteros y triángulos que parten de una base hexagonal y se desarrollan en una progresión de figuras semejantes que describen un movimiento helicoidal. A diferencia de nuestra chimenea, el número total de cuadriláteros se ve reducido en dos hileras para, en su lugar, ser reemplazadas por un remate en forma de pirámide hexagonal, del mismo tipo que la que se puede ver en los dos ejemplos anteriores.

En una observación detenida, sin embargo, la geometría de esta chimenea presenta unas características muy peculiares. En la Fig.4 se puede ver claramente como, en lugar

del cuadrilátero alabeado que cabía esperar, nos encontramos con las figuras regulares de unos cuadrados definidos por planos totalmente verticales. El detalle de la fotografía en la Fig.5 permite comprobar con claridad esta particularidad y deducir fácilmente el proceso de generación que, partiendo exactamente del mismo principio que nuestro ejemplo, llega a resultados diferentes. En efecto, podemos suponer que bastará aplicar el mismo esquema de los hexágonos inscritos para definir los puntos de paso de la poligonal. En esta configuración, los lados de los polígonos serán los encargados de definir los planos verticales de los cuadrados. De esta manera, se van generando unos planos triangulares que vinculan entre sí cada uno de los cuadrados verticales.

Siguiendo con el razonamiento en sistema diédrico, en la Fig.5 se ha dibujado un boceto que relaciona los dos contornos escalonados de las posiciones de estudio habituales con una aproximación a la planta del sombrerete. Como se puede comprobar inmediatamente, el esquema hexagonal queda perfectamente restituido en planta, convalidando de esta manera el proceso de generación geométrica deducido. Bastó, en este caso, la alteración de uno sólo de los parámetros iniciales para que la chimenea adquiriera un aspecto diferente.

Dentro del grupo B, tenemos dos ejemplos interesantes que ponen en evidencia con toda claridad la idea de movimiento que este sistema generativo es capaz de expresar.

El ejemplo número 2 tiene como característica más visible la configuración de seis hélices de sentido derecho que recorren toda la superficie del sombrerete hasta alcanzar el orificio de salida. Entre cada una de estas hélices se genera, a su vez, una superficie de doble curvatura como la que puede verse en la Fig.6. En una primera impresión, puede pensarse que esta es una estructura geométrica derivada directamente del cono. Sin embargo, la decidida forma hexagonal de la base del sombrerete parece indicar que pudo haberse utilizado un método generativo similar al estudiado aquí. Desde esta perspectiva, es posible imaginar que, para trazar las hélices sobre la superficie del sombrerete, se hubiera procedido primero a definir el paso de las curvas por medio de la determinación de una trayectoria poligonal, para luego *suavizar* estas hélices mediante un procedimiento complementario. En este caso, han sido deliberadamente eliminados de la superficie todos los indicios de la generación poligonal mediante la formación de las superficies alabeadas que vinculan las curvas consecutivas. De la misma manera que en el ejemplo de nuestra chimenea, estas superficies podrían haber sido modeladas como superficies alabeadas mediante la utilización de reglas que deslizaran sobre dos hélices contiguas.

La otra chimenea de este grupo tiene características similares a la anterior, sólo que reduce el número de hélices a cuatro y éstas giran ahora en sentido izquierdo. La superficie entre las curvas también es diferente al caso anterior, debido al cambio del sentido cóncavo al convexo y a la definición de las hélices como una junta rehundida en lugar de un borde



saliente. En la Fig.7 puede verse un esquema de la planta de esta chimenea, en donde las ménsulas están dispuestas según los vértices de un cuadrado y la base del sombrerete es circular.

De las cuatro chimeneas del grupo C, las números 8,10 y 11 son las que adoptan las formas más puramente cónicas y, por tanto, no presentan problemas de generación constructiva. En el caso de las unidades 10 y 11, la referencia a los patrones modulares se limita a la distribución de las perforaciones de ventilación, que se van alternando en relación de semejanza geométrica. Estas dos unidades aparecen fotografiadas en la Fig.8.

Un caso curioso es la chimenea 5, en donde el sombrerete se encuentra fraccionado en cuatro fragmentos de cono yuxtapuestos y unidos por las líneas de apoyo de las ménsulas. En la Fig.9 puede verse una fotografía de la base de dicho sombrerete y un croquis interpretativo de la planta.

Finalmente, en el grupo D encontramos el resto de las chimeneas que tiene por denominador común una forma piramidal, resultando su generación mucho más elemental. Cabe mencionar, no obstante, dos casos particulares que se caracterizan porque los lados de sus bases no son rectos y sus superficies presentan, por tanto, una configuración más interesante.

En el caso de la chimenea número 4, la base sigue teniendo situados sus vértices en un hexágono, pero sus lados presentan una curvatura suave y constante que se continua en cada cara del sombrerete hasta alcanzar el truncamiento del orificio de salida. En el croquis de la Fig.10 aparece dibujada la planta de esta chimenea.

La unidad 9 repite la misma idea, con la variante que esta vez la base de la pirámide es octogonal y la forma se aproxima más a una configuración cónica. Una fotografía y un croquis de esta chimenea se pueden ver en la Fig.11.

Para acabar este breve reconocimiento geométrico de las chimeneas del Palau Güell, resulta instructivo traer a referencia dos ejemplos que, más que por su belleza formal o su complejidad geométrica, tienen valor como comentario final acerca del método de generación aquí estudiado.

Estas dos chimeneas pertenecen al grupo de las *hermanas más pobres* del conjunto, situadas en la zona de servicio y construidas con obra vista.

La Fig.12 muestra la unidad 20, de base cuadrada y forma en principio piramidal. Sin embargo, al observar el detalle del encuentro de los ladrillos, inmediatamente advertimos que las aristas se van abriendo progresivamente hasta alcanzar la parte superior de la chimenea. En el truncamiento de la misma, las cuatro aristas achaflanadas se encuentran, regenerando el cuadrado de la base, sólo que ahora aparece girado 45°

respecto a este último. Es fácil advertir que, si hiciéramos una secuencia de secciones horizontales del sombrerete, obtendríamos las figuras de diferentes octógonos irregulares (entre los cuales sólo uno de ellos será regular) hasta retornar a la figura del cuadrado.

El último ejemplo es aún más elemental. Se trata de la última chimenea de la clasificación, es decir la que tiene el número 20. En este caso la idea del movimiento de rotación es expresada directamente con la superposición alternada de la figura del cuadrado, materializada físicamente en este caso con fragmentos de pirámides truncadas de tamaño decreciente que se encuentran giradas a  $45^\circ$  entre sí. Tal como se ve en la Fig. 13, estas pirámides son literalmente *apiladas* unas sobre otras hasta alcanzar la parte superior de la chimenea.

No se nos ocurre una manera más apropiada para ilustrar la esencia de nuestro método generativo que estos ejemplos, tan simples pero a la vez tan clarificadores. Inmediatamente recobramos la imagen con que ilustrábamos la generación geométrica de nuestro modelo (Plano MT2), en donde los prismas hexagonales iban decreciendo en altura a medida que giraban y definían los pasos de la poligonal. Estos casos también nos remiten necesariamente a la idea de muchos trazados medievales y al concepto de *Ad quadratum* ya comentado en estas páginas.

Aquí se pone en evidencia, entonces, la esencia misma del propio método generativo; un sistema de carácter fundamentalmente dinámico en donde el movimiento se muestra como principal protagonista y en donde el resultado final puede adquirir innumerables posibilidades expresivas.

Como es lógico suponer, Gaudí no solamente utilizó en las chimeneas del Palau Güell este método de trabajo tan particular. Es sobradamente conocida su permanente obsesión por las formas de revolución, cuya materialización arquitectónica se manifestaba generalmente bajo la apariencia de cúpulas, torres o las propias chimeneas de ventilación. Si seguimos mentalmente muchos de estos ejemplos en la propia arquitectura de Gaudí es posible que nos encontremos con muchas de las particularidades geométricas que hemos comentado a lo largo de este trabajo.

Como hemos sugerido en el Capítulo IV, la propia cúpula del Palau Güell nos ofrece un interesante ejemplo de generación geométrica a partir del trazado y control de las relaciones proporcionales del conjunto de elementos hexagonales que recubren por completo su superficie. La definición geométrica de tratamientos decorativos similares la podemos encontrar en otras cúpulas, como las de la casa Vicens o la finca *El Capricho* en Comillas.

Sin embargo, Gaudí encontrará las máximas posibilidades expresivas de estas formas en las distintas chimeneas y ventiladores que constituyen una especie de referencia obligada en toda su obra.

Entre estas chimeneas, encontramos una en particular que representa un indudable antecedente directo de la aplicación del método de generación geométrica estudiado aquí. Nos referimos a una de las chimeneas que construyera Gaudí para la porteria de la Finca Güell, actual sede de la Cátedra Gaudí. Esta chimenea de ventilación, que Bergós compara formalmente con los cupulines del claustro del Templo de la Sagrada Familia<sup>5</sup>, contiene todos los rasgos geométricos básicos de nuestro ejemplo (Fig. 14).

En este caso, en lugar de las acostumbradas ménsulas, el sombrerete se encuentra sostenido por seis *costillas* muy esbeltas que lo elevan del cuerpo de apoyo. La base del sombrerete es, como en nuestro caso un hexágono, pero esta vez con los vértices levemente achaflanados. Su desarrollo en altura sigue exactamente las pautas de generación geométrica estudiadas en esta tesis, es decir el movimiento de rotación de figuras hexagonales decrecientes, giradas entre sí de manera de ir inscribiéndose unas dentro de las otras.

Sin embargo, como se puede comprobar fácilmente, el aspecto final de esta chimenea es bien diferente al de los ejemplos analizados anteriormente. En este caso el autor ha querido dar énfasis precisamente a los trazados hexagonales, materializando cada uno de sus vértices con dos triángulos rectángulos unidos entre sí que van decreciendo sus tamaños proporcionalmente a las alturas.

Desde otro ángulo expresivo diferente al de nuestros ejemplos, nos encontramos aquí nuevamente con todos los elementos básicos del vocabulario geométrico que compone nuestro sistema generativo: la figura hexagonal en planta, la definición de unas series proporcionales de figuras (en este caso también diedros, pero de una configuración y situación completamente diferente) y la sugerencia de un movimiento helicoidal que recorre todo el cuerpo del sombrerete. En suma, un ejemplo que, como hemos dicho inicialmente, constituye no sólo un claro antecedente de este sistema de generación geométrica sino que permite comprobar la gran flexibilidad operativa y la gran variedad de posibilidades expresivas que es posible lograr con la utilización de sistemas de este tipo.

Si nos empeñáramos en una tarea casi arqueológica, sería posible encontrar rastros fragmentarios de otras arquitecturas que puedan dar cuerpo a una cierta *génesis geométrica* del sistema gaudiniano. Una investigación que abarcaría tanto el sistema generativo en sí mismo como la geometría elemental de los arquetipos formales más recurrentes de su obra. Naturalmente, esta no es una tarea a realizar aquí, ya que sobrepasaría los límites de este estudio. No obstante, y a modo de referencia iniciática, resulta interesante señalar algunos ejemplos importantes de estos antecedentes, aunque en principio puedan resultar un poco vagos y dispersos.

---

<sup>5</sup> BERGÓS, Joan, *Gaudí, l'home i l'obra*, op. cit., p.75.

La idea de la generación de formas por rotación y desplazamiento en el espacio de un elemento singular es, como hemos visto, casi tan primitiva como la arquitectura misma. En innumerables ejemplos de la arquitectura popular de Tarragona y otras comarcas catalanas, es común ver unos pilares de sostén cuya apariencia nos recuerda la idea de la columna salomónica. Construidos exclusivamente con ladrillos, estos pilares no llevan generalmente revestimiento alguno. Para su edificación, cada ladrillo que se agrega es sometido a un movimiento de rotación sobre su propio plano horizontal, de acuerdo con un valor constante e igual para todas las unidades sucesivas. Esta combinación de superposiciones y giros regulares definen, como es de suponer, una versión *escalonada* de un helicoides recto de plano director que confiere un notable valor plástico al objeto.

Gaudí ha utilizado en muchas oportunidades este recurso constructivo en su propia obra, pero quizá el ejemplo más evidente de esta técnica lo podemos ver en el edificio de las Teresianas (Fig.15a). En esta obra es posible ver columnas de este tipo, tanto en la fachada del edificio como en ciertos espacios interiores (Fig.15b). Aquí la referencia a la generación helicoidal a partir de la idea de agregación continua de elementos es bien evidente y el autor la utiliza con un criterio puramente expresivo.

Esta misma idea de la generación por rotación la volvemos a ver en las ya comentadas columnas de la Sagrada Familia, en donde la utilización de un juego de plantillas animadas de un movimiento particular, iba definiendo la forma de las mismas<sup>6</sup> (Fig. 16). En este caso, la continuidad de la superficie resultante no expresa de una manera directa la idea de superposición, tal como se podía ver en el ejemplo anterior. Sin embargo, la forma sigue manteniendo intacta todo el sentido dinámico que caracteriza a este modo de generación.

Finalmente, es interesante traer aquí por un momento un ejemplo puramente gráfico de las preferencias figurativas gaudinianas.

En el Capítulo II, comentábamos la influencia de ciertas *formas arquetípicas* de la naturaleza en la propia arquitectura de Gaudí y las relaciones que tenían estas formas con la geometría como instrumento del arquitecto.

En el dibujo del ya muy conocido pavimento de la casa Milà (Fig.17) podemos encontrar una perfecta simbiosis gráfica que sintetiza los referentes formales de nuestra investigación. Mediante la yuxtaposición de tres de estas piezas, podemos restituir los motivos fundamentales del pavimento: el hexágono, las formas naturales representadas por elementos vegetales y tres espirales que sirven justamente como nexo de unión entre las piezas del pavimento.

Evitando caer en la metáfora fácil (hay muchas coincidencias), podemos decir que

---

<sup>6</sup> Ver Capítulo VII, *El proceso constructivo*.

estos tres símbolos gráficos representan en buena medida las obsesiones gaudinianas más profundas. De ellos puede deducirse la idea de la continuidad por agregación que representa la figura hexagonal, el concepto de movimiento que contienen las espirales en su propia geometría, la naturaleza como inspiración formal, etc.

En este caso, sin embargo, nos limitamos al marco de nuestro propio trabajo y nos contentamos con comprobar que las dos figuras puramente geométricas del pavimento son los componentes esenciales de la generación y la estructura formal de la chimenea: el hexágono como elemento generador básico y las espirales en cuanto referencia geométrica del movimiento y el crecimiento continuo.

### *Guarini y Gaudí.*

Ciertos aspectos particulares del proceso de generación geométrica analizado aquí y utilizado por Gaudí en una buena parte de su producción arquitectónica se pueden detectar, naturalmente, en otras arquitecturas. Las relaciones entre los instrumentos de la *geometria fabrorum* utilizada en la Edad Media y el propio procedimiento gaudiniano ya han sido debidamente expuestas a lo largo de esta tesis. De igual manera, la deuda del arquitecto hacia las formas altamente geometrizadas del arte musulmán queda ya fuera de toda duda. Sin embargo, los puntos que vinculan algunos aspectos de los procedimientos geométricos utilizados por Gaudí con el pensamiento constructivo del barroco no han sido, que sepamos, profundizadas hasta el momento.

Quizá uno de los factores que pudo haber contribuido a este descuido sea la ausencia de comentarios del propio Gaudí respecto a este período de la historia arquitectónica. Una ausencia que no debe entenderse como menosprecio, ya que el arquitecto dedica expresamente una de sus obras importantes como la casa Calvet a este estilo arquitectónico<sup>7</sup>.

Si tenemos en cuenta la búsqueda de los creadores del barroco dentro del propio contexto de la época, podremos comprobar que ciertos aspectos *contestatarios* de sus obras en relación a las tradiciones del pasado clásico no están tan alejadas de los planteamientos del arquitecto catalán. Naturalmente, no todas las figuras del barroco pueden incluirse dentro de este ámbito *revolucionario* del período post-renacentista.

La manifestación más notoria de esta actitud de renovación estará relacionada con dos aspectos fundamentales. Uno, de tipo histórico, con la tibia recuperación de ciertos

---

<sup>7</sup> "Quan jo havia de fer algun projecte dintre d'un estil tradicional concret, procurava posar-me dintre de les circumstàncies i característiques de l'estil, i aleshores podia crear amb llibertat; i així vaig fer grec en la columnata de la plataforma del Parc Güell, gòtic a Bellesguard i a Mallorca, i barroc a la casa Calvet." (PUIG BOADA, Isidre, *El pensament de Gaudí...*, op. cit., p.109)

valores de la arquitectura medieval. El otro, a partir de la investigación de las posibilidades creativas de la geometría como herramienta del proyecto de arquitectura.

Entre las figuras más prominentes de este espíritu un tanto iconoclasta, surge la del padre Guarino Guarini, un arquitecto duramente criticado posteriormente por los seguidores de la corriente neoclásica del ochocientos, que lo consideraban una *reductio ad absurdum* de Borromini y cuya arquitectura resultaba extravagante y excesiva<sup>8</sup>.

No tenemos noticia que Gaudí haya prestado atención a la arquitectura del italiano, sin embargo existen algunas coincidencias que merece la pena destacar<sup>9</sup>.

En primer lugar, Guarini deja constancia escrita de una revalorización del estilo gótico que, en su *Architettura Civile*, confronta con los órdenes clásicos incluyéndolo con la misma categoría de un *orden complementario*<sup>10</sup>. Pero esta consideración de la arquitectura medieval no pasa por un *revival* ecléctico más o menos romántico, sino por una comprensión profunda de los fundamentos constructivos y estructurales de esta arquitectura. La reinterpretación del estilo gótico que lleva a cabo Guarini traerá aparejado inevitablemente un cuestionamiento de las reglas clásicas del construir, un aspecto que también el arquitecto expresará con claridad en su propio tratado<sup>11</sup>.

La reconocida admiración de Guarini hacia la arquitectura islámica es otra de las convergencias con Gaudí que vale la pena señalar. Existen bastantes indicios de que el religioso realizó un viaje por España y Portugal antes de 1660. La influencia que recibió de las grandes cúpulas de estilo mudéjar queda patente especialmente en las notables similitudes que presentan iglesias como la de San Lorenzo, en Turín, y la mezquita de Córdoba<sup>12</sup>.

Pero donde resulta realmente interesante establecer un encuentro entre Gaudí y el padre Guarini es en la pasión que sentían ambos arquitectos por la geometría.

La geometría de Guarini es el verdadero instrumento liberador de su arquitectura. Su *Architettura Civile* es un auténtico tratado de geometría aplicada, en donde se confunden operaciones propias de la geometría con el tratamiento de los temas clásicos de la

---

<sup>8</sup> MEEK, Harold Alan, *Guarino Guarini*, Milano, Electa, 1991, p.12.

<sup>9</sup> El propio Roberto Pane, en su biografía, también sugiere la afinidad entre ambos arquitectos en relación a esta capacidad para hacer del instrumento geométrico un elemento de renovación arquitectónica. (PANE, Roberto, *Antoni Gaudí*, op. cit., p.30)

<sup>10</sup> GUARINI, Guarino, *Architettura Civile*, Milano, Il Polifilo, 1968, p.135.

<sup>11</sup> GUARINI, Guarino, op. cit., Capítulo III, Osservazione sesta, *L'architettura può correggere le regole antiche, e nuove inventare*, p.15.

<sup>12</sup> MEEK, Harold Alan, op. cit., p.21.

arquitectura. Aquí, comenzamos a encontrar la preocupación por ciertos aspectos geométricos que guardan un evidente paralelo con algunas constantes gaudinianas. Así, es posible localizar en las páginas del libro de Guarini diversos estudios para el trazado de distintos tipos de espirales<sup>13</sup> (Fig.18), un capítulo completo dedicado a las superficies derivadas de las cónicas<sup>14</sup>, otro en donde se estudian gráficamente las distintas variedades de progresiones geométricas<sup>15</sup> (Fig.19), etc.

El tema clave de las relaciones que nos proponemos establecer aquí estará, sin embargo, en el desarrollo que hace Guarini de un nuevo tipo de cúpula de su propia invención<sup>16</sup>. El procedimiento geométrico-constructivo utilizado para concebir estas formas guarda unas notables semejanzas con el sistema generativo estudiado en este trabajo.

Esta cúpula, que algunos autores denominan *cúpula telescópica*, se estructura mediante una serie de arcos parabólicos que invaden el espacio interior, entrecruzándose mutuamente y dejando una abertura poligonal en el centro a partir de donde se superponen nuevas estructuras. El resultado tiene una innegable belleza, que hereda del arte musulmán la sabia e íntima relación entre elementos estructurales y decorativos. Sin embargo, la característica más interesante de este tipo de cúpulas es el empleo que hace Guarini de dos recursos geométricos esenciales:

a) la utilización de figuras poligonales (hexágonos y octógonos) cuya disposición se va alternando en el desarrollo espacial de la cúpula;

b) la definición de un espacio interior construido mediante distintas partes superpuestas que generan una progresión de *subespacios* independientes.

Aparecen entonces aquí dos rasgos geométricos esenciales del procedimiento gaudiniano: la utilización de las figuras poligonales como elementos generadores y la técnica de la rotación espacial de estas figuras. La diferencia con el método empleado por Guarini radica solamente en que, para el arquitecto de Módena, toda la expresividad del sistema geométrico se encuentra volcada hacia el interior.

Guarini construyó muchas cúpulas de este tipo, de las cuales el antecedente más remoto es una iglesia que aparece en su tratado, localizada en Messina y de improbable construcción (Fig.20). Aquí ya aparece todo el vocabulario geométrico de las figuras giradas, aunque la disposición del espacio interior -a pesar de adoptar decididamente esta

---

<sup>13</sup> GUARINI, Guarino, *op. cit.*, pp.119-123.

<sup>14</sup> GUARINI, Guarino, *op. cit.*, "Capo Settimo, Della superficie della sferoide, o conoide iperbolica, o parabolica", p.378.

<sup>15</sup> GUARINI, Guarino, *op. cit.*, "Capo Ottavo, Delle progressioni geometriche", p.418.

<sup>16</sup> GUARINI, Guarino, *op. cit.* "Osservazione nona, Delle volte a fascie", p.286.

superposición de cuerpos separados comentada más arriba- todavía no tiene la fuerza y la originalidad de sus obras posteriores.

Un ejemplo mucho más importante en este sentido es la ya citada cúpula de la iglesia de *San Lorenzo*, en Turín, cuyo elemento inicial es ahora un octógono que se genera como figura dinámica del cuadrado. En los dibujos de la Fig.21 y la Fig.22 se puede ver la disposición de las poligonales proyectadas en planta y una sección en donde se percibe la sucesión de espacios concatenados de la cúpula, obtenidos por rotaciones sucesivas de la figura base.

En el caso de la cúpula para la capilla de la *Sacra Sindone*, también en Turín, nos encontramos finalmente con una coincidencia casi absoluta en el procedimiento geométrico empleado por los dos arquitectos (Fig.23, Fig.24).

Esta capilla, edificada por Guarini sobre la estructura existente de una planta circular, constituye uno de los más osados ejemplos de la arquitectura de la época. A partir de un tambor, cuya luminosidad contrasta con la penumbra de la capilla, se alza esta cúpula que sorprende por su dinamismo y complejidad formal.

La figura base es, como en el ejemplo de nuestra chimenea, un hexágono que se va inscribiendo en sí mismo, rotando  $30^\circ$  y ganando altura hasta ser rematado en un orificio circular. En este caso, la materialización del proceso generativo se produce mediante la creación de unos tímpanos perforados que van formando los sucesivos anillos de altura decreciente hasta alcanzar el orificio superior. La iluminación natural que entra por cada una de estas perforaciones inunda toda la cúpula y enfatiza el artificio constructivo y geométrico (Fig.25).

Los efectos perceptivos que es capaz de generar este espacio interior están ligados íntimamente con la idea del infinito y la ascensión, unos conceptos que, como hemos visto, se vinculan con la idea de progresión geométrica que propone un sistema generativo como éste.

La confrontación de dos ejemplos tan dispares como son nuestra chimenea del Palau Güell y esta cúpula de la *Sacra Sindone* revela, fuera de toda interpretación histórico-estilística, la coincidencia de un procedimiento geométrico sencillo y eficaz para generar formas arquitectónicas. Simultáneamente, es capaz de demostrar el amplio registro de posibilidades expresivas que es posible obtener con el empleo creativo de sus potencialidades.



## CONCLUSIONES FINALES

### *Gaudí: coherencia geométrica y práctica de la arquitectura.*

Al inicio de esta tesis hablábamos de la búsqueda afanosa de Gaudí por emular las formas del mundo natural. Esta búsqueda -a veces transformada casi en una obsesión personal- no podía basarse, como habían hecho muchos de sus contemporáneos, en la mera recreación de motivos figurativos. Gaudí era un hombre de una racionalidad extrema y no podía permitirse una mirada excesivamente romántica, una vuelta hacia los aspectos más superficiales de la naturaleza.

La indagación gaudiniana, sin embargo, tampoco será de tipo estructuralista, porque era enemigo de las abstracciones y estaba demasiado adherido a la realidad de la propia materia. En otro momento del trabajo, también hemos llegado a deducir que su actitud respecto a este tema no era siempre la misma, dependiendo de cada período de su actividad creativa y de cada obra en particular.

La posición de Gaudí frente al problema de la naturaleza es, por ende, un tema demasiado complejo y sobre el cual se debe evitar caer en simplismos fáciles.

En el Capítulo II, llegábamos a la conclusión de que en muchos casos Gaudí intentaba una aproximación a ciertos modelos formales de la naturaleza (que llamábamos *arquetipos*) por la vía de la geometría. Se quería dejar bien claro aquí que, en este caso, se trataba de emular una *apariencia* exterior de las formas naturales mediante una serie de cuerpos geométricos que sintetizaban algunas propiedades morfológicas de dichas formas. De esta manera, era posible encontrar la respuesta geométrica a las *superficies mínimas* de muchos cuerpos naturales, los equivalentes a las formas helicoidales o la expresión matemática adecuada del concepto de *semejanza continua* elaborado por los naturalistas.

De una actitud ciertamente racional frente a estos temas emergerá, paradójicamente, toda la fuerza creativa de Gaudí. La arquitectura de Gaudí sustentará toda su enorme originalidad en una compleja relación entre los referentes exteriores, la geometría y su audaz intuición artística.

Gaudí necesitaba de los instrumentos de la geometría porque era totalmente consciente que estas formas debían ser materializadas. Es más, no era capaz de concebir una forma si no la *veía* simultáneamente materializada. Como consecuencia de esto, su arquitectura soslayaba en muchos casos el proceso mediador del dibujo para ir construyéndose en un camino paralelo al propio proceso intelectual.

Quizá uno de las causas más profundas de esta actitud fuertemente pragmática la tengamos que buscar en su sólida formación como arquitecto *constructor* y su amor por las técnicas artesanales de su tierra; procedimientos simples, económicos y de una gran flexibilidad creativa.

En el Capítulo III hemos podido ver cómo esta manera particular que tiene Gaudí de encarar el proceso creativo de la construcción arquitectónica, unido al conocimiento de los procesos constructivos, cristalizará en un método de trabajo que tiene a la geometría como protagonista esencial.

Mediante las herramientas de una *geometría práctica*, el arquitecto será capaz de idear unos sistemas de generación de formas que parten de unos elementales principios geométricos y pueden aplicarse directamente en el proceso de obra.

El objetivo principal de esta tesis fue, precisamente, el análisis de uno de esos métodos y la manera en que Gaudí lo aplica en un ejemplo de su arquitectura. Los Capítulos IV, V, VI y VII fueron dedicados a esta tarea.

Las conclusiones de esta investigación, que tomó como ejemplo una simple chimenea de ventilación, no podían ser más satisfactorias. A medida que íbamos despojando a la chimenea de su *epitelio* decorativo, se veía emerger su realidad geométrica imponiéndose con toda contundencia. Aparecieron entonces los cuadriláteros alabeados, los hexágonos y las hélices, unos datos básicos que permitían elaborar las primeras hipótesis acerca de la construcción geométrica del modelo.

El paso siguiente fue, indudablemente, la generación de un modelo teórico capaz de revalidar nuestra hipótesis de generación. A partir de unos comienzos un poco titubeantes, se pudo dar finalmente con la clave del método generativo que permitió la construcción de este modelo ideal.

Un proceso comparativo entre ambos modelos, el real y el teórico, permitió verificar la idoneidad del sistema y evaluar las desviaciones que todo proceso constructivo implica.

Con el objeto de comprobar las posibilidades de aplicación del método estudiado aquí en otros ejemplos de la arquitectura de Gaudí, se realizó un análisis gráfico y comparativo del resto de las chimeneas del propio Palau Güell. Los resultados no podían ser más alentadores: a pesar de la diversidad de formas que presentan las chimeneas, fue posible verificar que la mayoría de las unidades presentan el mismo proceso generador de base y que existe una recurrencia de los temas geométricos esenciales.

El sistema de generación geométrica basado en la rotación de figuras poligonales en el espacio, se consolidaba entonces como un método generalizable a otros ejemplos, del que se podía obtener una gran variedad de respuestas formales a partir de unos procedimientos sencillos y de gran eficacia.

Gaudí empleaba la geometría con un sentido esencialmente pragmático. Ahora, al final de la tesis, parece un poco pedante el haber llenado tantos papeles de planos y dibujos para explicar algo que, para él, resultaba prácticamente intuitivo. Quizá sea el momento de admitir la grandeza de los maestros, pero también es la manera en que, a partir de los

códigos actuales (que inevitablemente son los nuestros) podemos comprender en profundidad toda la complejidad que encierran las formas gaudinianas.

Al final de todo el proceso, la geometría -el eje conductor de toda esta investigación- se revela en esta arquitectura de Gaudí con una coherencia tal que no admite cuestionamientos.

Esta era, pues, una geometría coherente en el propio modelo de estudio cuando, a partir del esquema de los hexágonos inscritos, definía una razón de proporcionalidad que se verificaba en las alturas y en las formas de los cuadriláteros. De igual manera, las relaciones de semejanza de los cuadriláteros eran las encargadas de establecer las pautas geométricas de las hélices loxodrómicas, que encontraban, a su vez, la respuesta en su proyección como espirales logarítmicas.

La geometría de la chimenea también se revelaba coherente cuando definía sus aproximaciones a las formas naturales.

La presencia de las leyes de semejanza geométrica en todo el proceso generador del modelo, aseguraba aquella referencia permanente de los naturalistas en relación con el concepto de *nomon*, defendido especialmente por D'Arcy Thompson. Por su parte, la deducción geométrica de la hélice loxodrómica y la espiral logarítmica presente en la proyección del modelo en planta, tenían su correlato directo con muchas morfologías naturales, tal como hemos visto en el Capítulo II. Por su parte, las superficies alabeadas de los cuadriláteros constituían la referencia directa a las *superficies mínimas* presentes en muchas estructuras naturales.

Finalmente, la geometría de Gaudí se revelaba esencialmente coherente al unir sólidamente sus propios procesos generadores con la lógica de los procesos constructivos.

### *Acerca de lo operativo en la investigación geométrica.*

Llegando al final de este trabajo, me agradaría sacar unas conclusiones de índole general derivadas de mi experiencia en todo este proceso.

La primera de ellas tiene que ver con la operatividad que tienen los sistemas de proyección en un análisis de este tipo.

El trabajar con una superficie de un alto contenido espacial como la de nuestro modelo, parecía en principio sugerir un proceso de interpretación a partir de un sistema de proyección, como el axonométrico, que pudiera tener en cuenta los aspectos perceptivos. Sin embargo, el desarrollo del trabajo demostró lo erróneo de esta suposición inicial.

La mayor parte de las conclusiones más importantes de esta tesis acerca de las propiedades geométricas y del propio proceso generador del modelo, fueron deducidas a partir de la interpretación de las proyecciones en sistema diédrico. Con el único trámite de

definir las dos posiciones significativas de estudio (las denominadas posiciones I y II), fue posible establecer todas las relaciones geométricas necesarias para trazar el modelo teórico y estudiar el comportamiento de las curvas y las poligonales.

Como puede observarse en los planos que acompañan esta investigación, las axonometrías aparecen solamente cuando es preciso una visualización global del modelo o una explicación gráfica de un procedimiento determinado.

En este caso, a pesar de haber trabajado con un objeto de una cierta complejidad espacial, las figuras sintéticas del sistema diédrico se mostraban como las más idóneas para resolver los problemas de interpretación geométrica y para establecer las pautas generales del trazado del modelo.

Otra conclusión interesante de este trabajo es la que concierne a los procesos gráficos de interpretación.

La variedad de sistemas gráficos empleados para las distintas etapas de esta tesis pone en evidencia un tema de cierta actualidad.

En los últimos años se ha ido imponiendo lentamente la idea que el sistema informático de dibujo es la única opción válida para el trabajo de arquitectura. Una imposición que, lógicamente, amenaza la supervivencia de los llamados *sistemas convencionales*, es decir, los dibujos de "papel y lápiz". En el desarrollo de este trabajo de investigación me he convencido justamente de lo contrario: no sólo resulta conveniente, sino además imprescindible, una adecuada coexistencia entre los distintos procesos de interpretación gráfica.

Cada uno de los sistemas gráficos tiene su propia lógica interna y es capaz de revelar distintas *realidades* del objeto analizado.

En nuestro caso, el sofisticadísimo sistema de restitución fotogramétrica nos permitió unos niveles de interpretación y evaluación dimensional del modelo que, evidentemente, no hubiéramos podido conseguir con otro procedimiento. Sin embargo, en el otro extremo, el proceso gráfico de reflexión en base a croquis y fotografías convencionales nos fue aproximando a otros aspectos no menos interesantes de la morfología de la chimenea.

Dentro de este proceso tenemos, además, todo el trabajo de edición del modelo en sistema CAD. Un trabajo insustituible que nos permitió la definición geométrica del modelo teórico y su comparación con el restituido.

Es decir que, para el análisis de nuestra chimenea, hemos empleado conjuntamente la técnica del boceto manual, el sistema fotogramétrico, las fotografías convencionales y el dibujo informático. Si hubiéramos eliminado alguno de estos procesos gráficos, este trabajo no estaría completo.

Otra de las conclusiones interesantes de esta tesis es la que se deduce del trabajo con las bóvedas de la Colonia Güell. A pesar de que su desarrollo quedó en gran medida eclipsado por los resultados obtenidos con la chimenea, no debemos olvidar que, por medio del estudio matemático, la hipótesis de partida de la investigación quedaba plenamente demostrada.

En efecto, la documentación que recoge el *Apéndice D* no deja lugar a dudas acerca de la filiación geométrica de estas superficies. La confirmación de las bóvedas como paraboloides hiperbólicos revalida de esta manera los planteamientos sostenidos teóricamente por muchos autores de la obra de Gaudí.

Asimismo, confiamos en que el importante material fotogramétrico del levantamiento pueda servir, además, como punto de partida para el desarrollo de futuras investigaciones sobre el tema.

Para acabar, una reflexión acerca del significado de una propuesta como la de Gaudí en la actualidad.

¿Tendría sentido la aplicación de un sistema basado en unas pocas *recetas* geométricas, en donde no existan apenas planos de ejecución y en donde sería fundamental la comunicación humana y profesional con los ejecutores de la obra? Evidentemente, sería casi una locura imaginar un proceso de este tipo dentro del medio de la construcción de hoy día. Sin embargo, la pregunta no parece tan descabellada cuando intentamos sacar unas conclusiones más generales.

En un momento de la arquitectura como el actual, en donde existe una cierta crisis de la forma en cuanto realidad geométrica, la lección de Gaudí nos hace reflexionar seriamente. Esta reflexión no tiene una respuesta inmediata, pero vale la pena ser formulada. Se trata, en última instancia, de pensar cuál es el lugar de la geometría dentro del propio proceso de construcción arquitectónica actual.

La lección de Gaudí tiene que ver con la necesidad de *controlar* la forma arquitectónica, tanto en su propia realidad geométrica como en sus posibilidades constructivas. Es una actitud, por tanto, que intenta sacar el máximo provecho de este control. Es una enseñanza que pasa por las posibilidades creativas de *decir mucho con muy poco*, un ejercicio expresivo que parece haber desaparecido de la mesa de trabajo de los arquitectos.

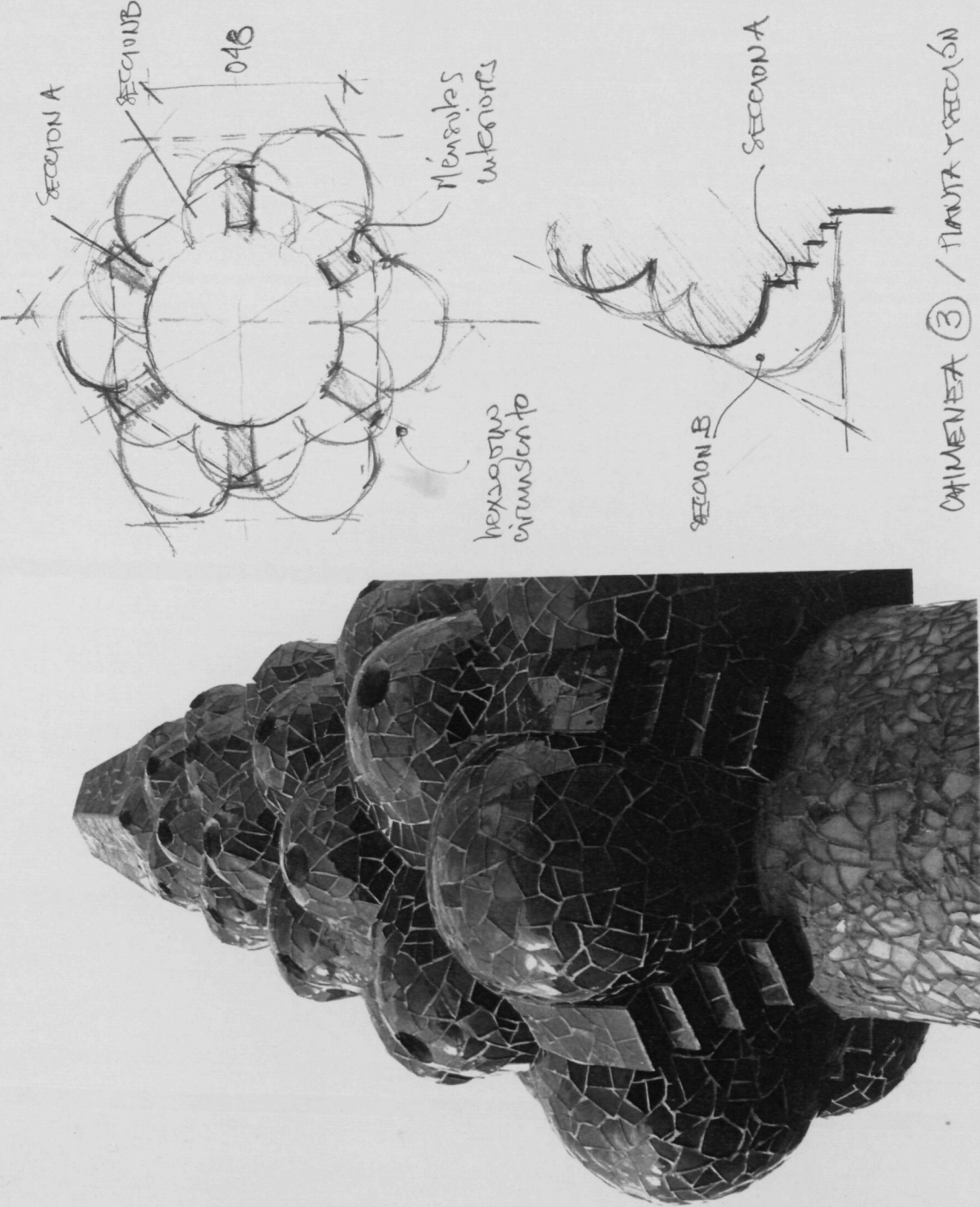


Fig.1



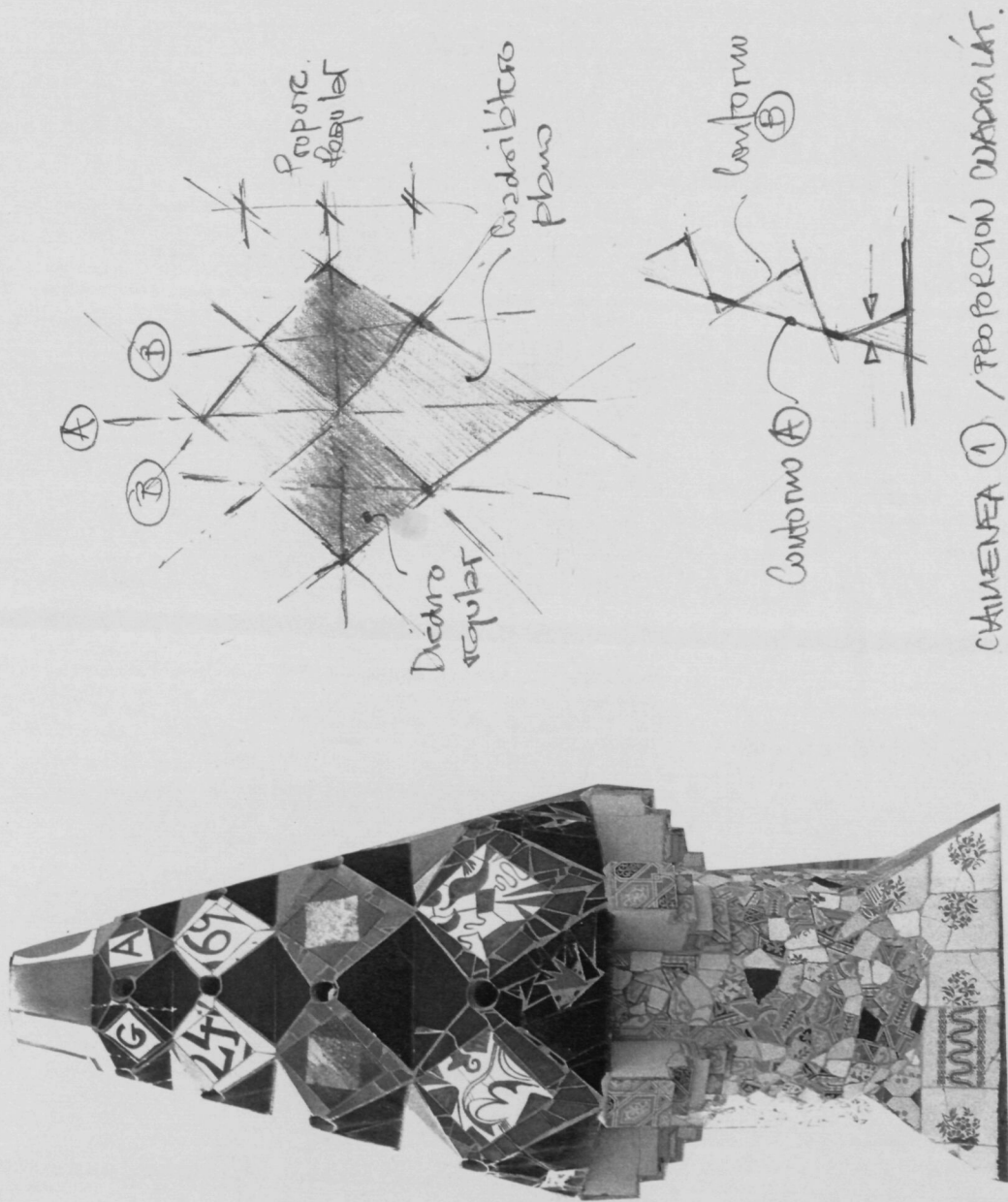


Fig.2

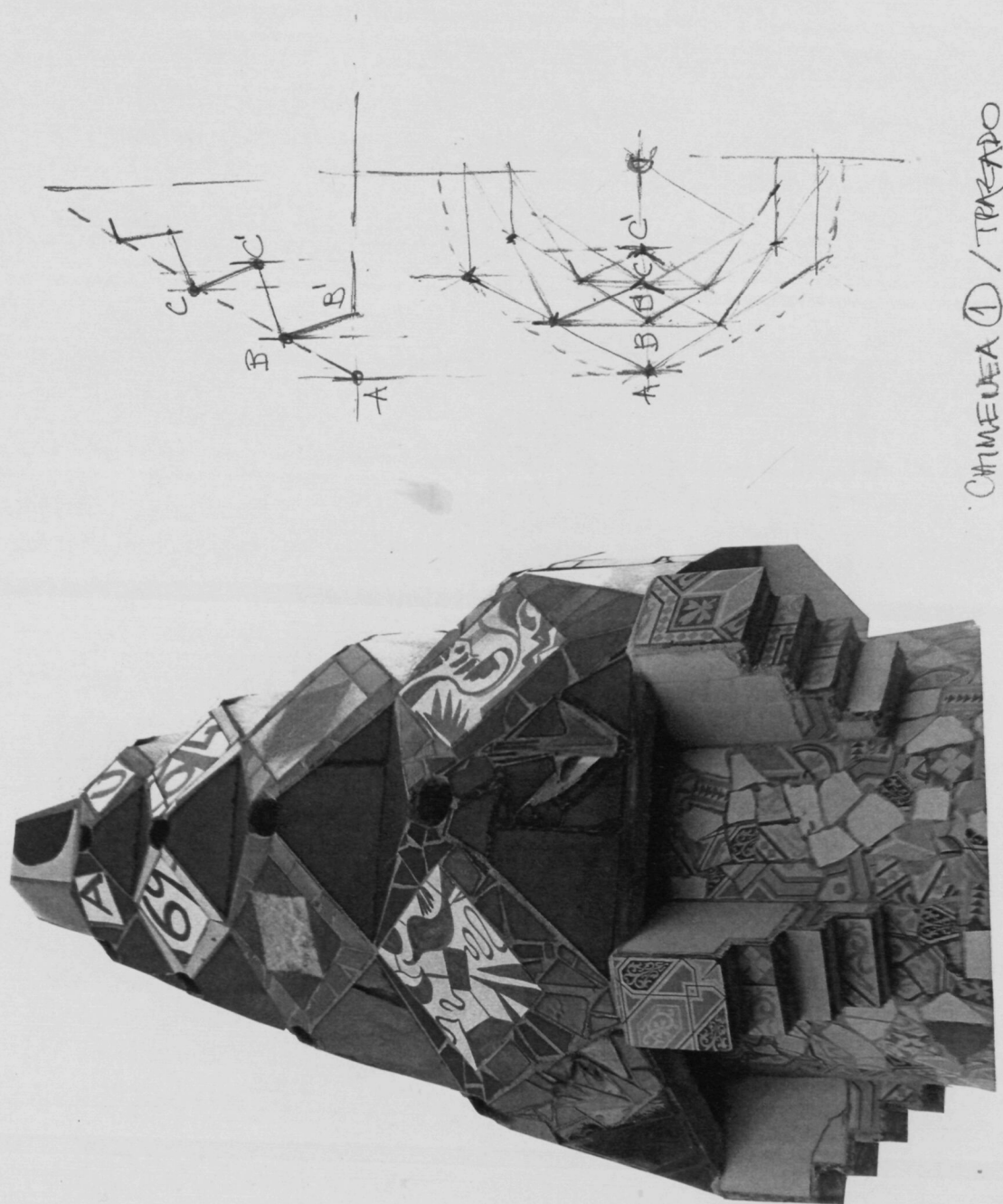


Fig.3



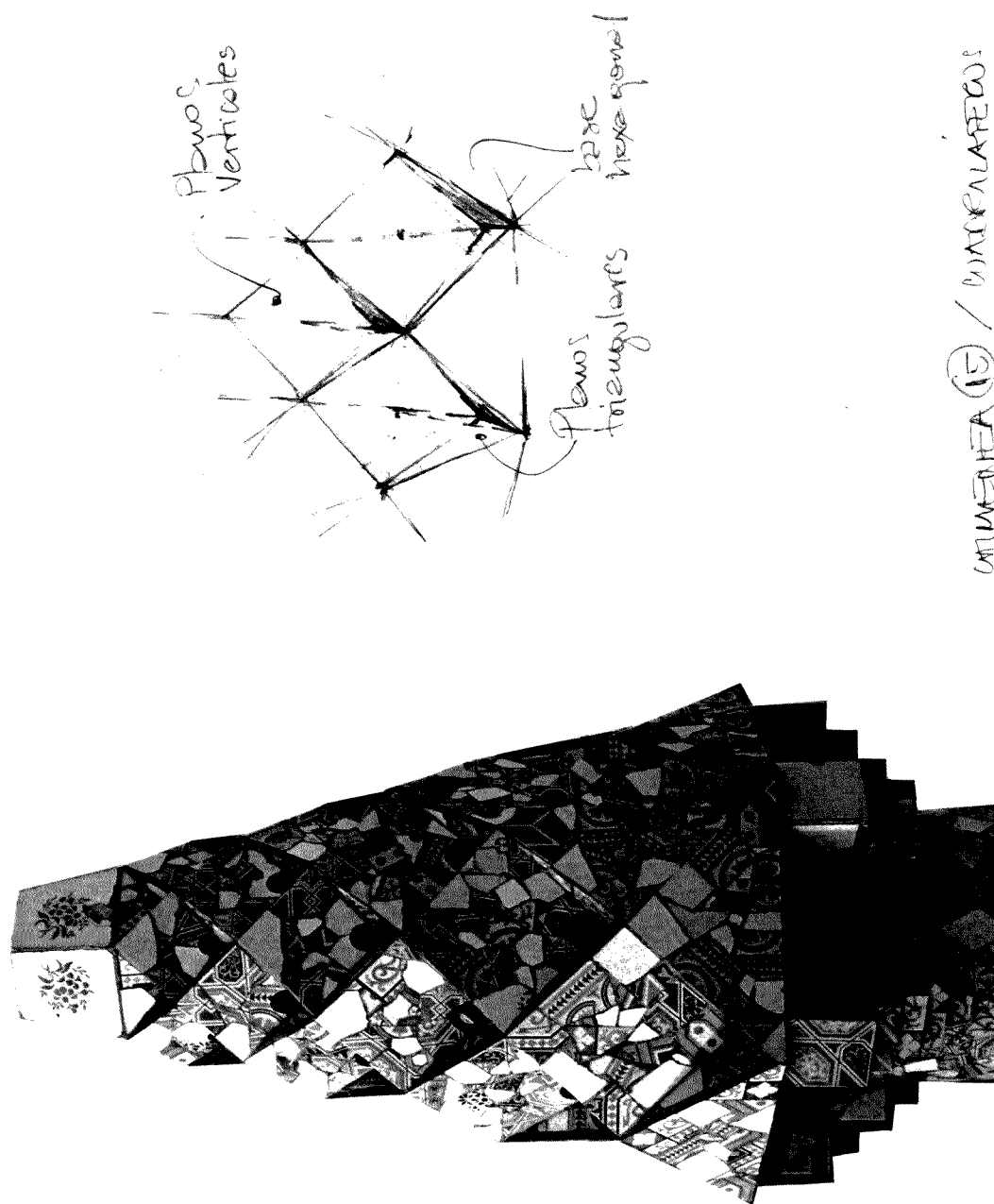


Fig.4

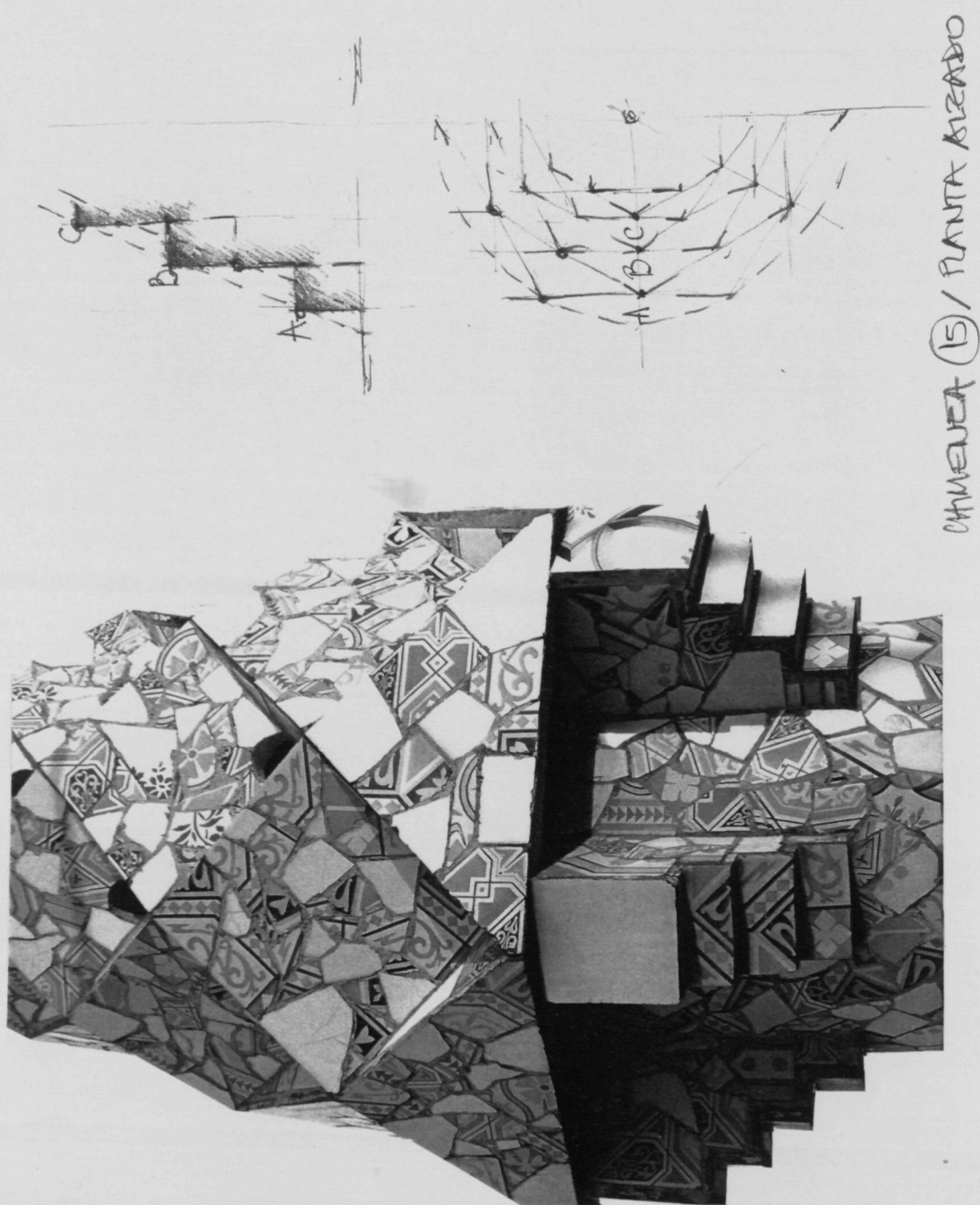


Fig.5

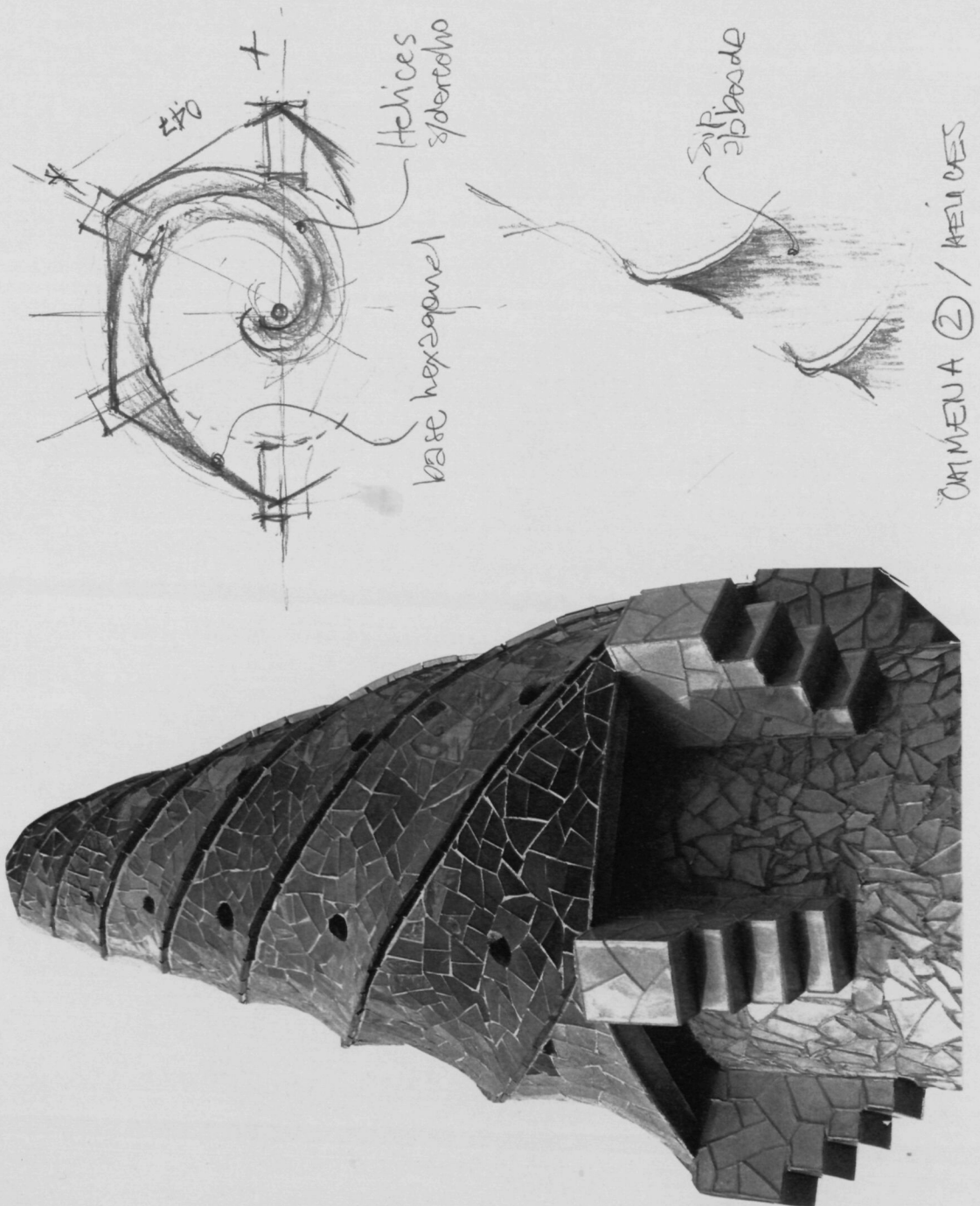


Fig.6

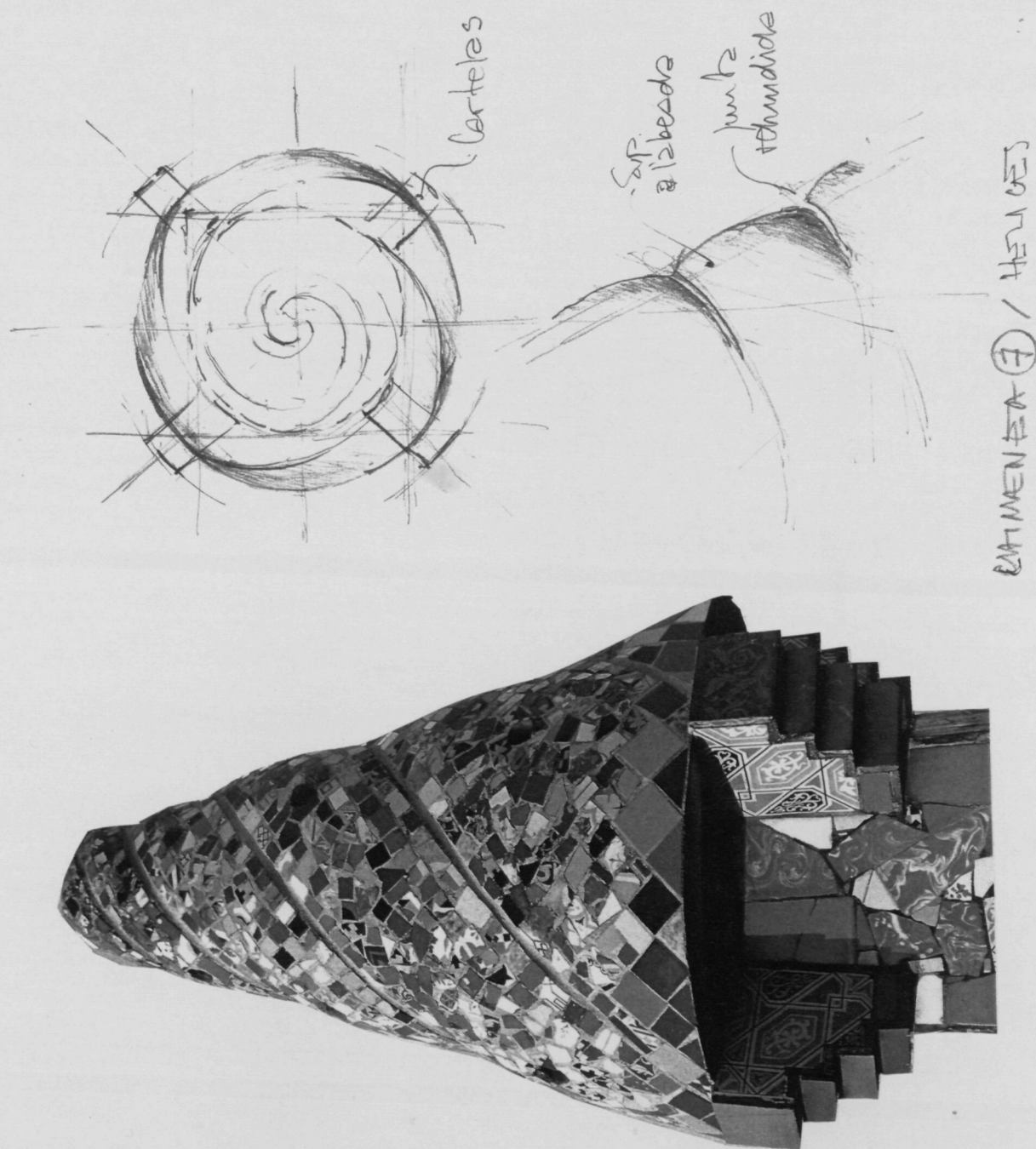


Fig.7



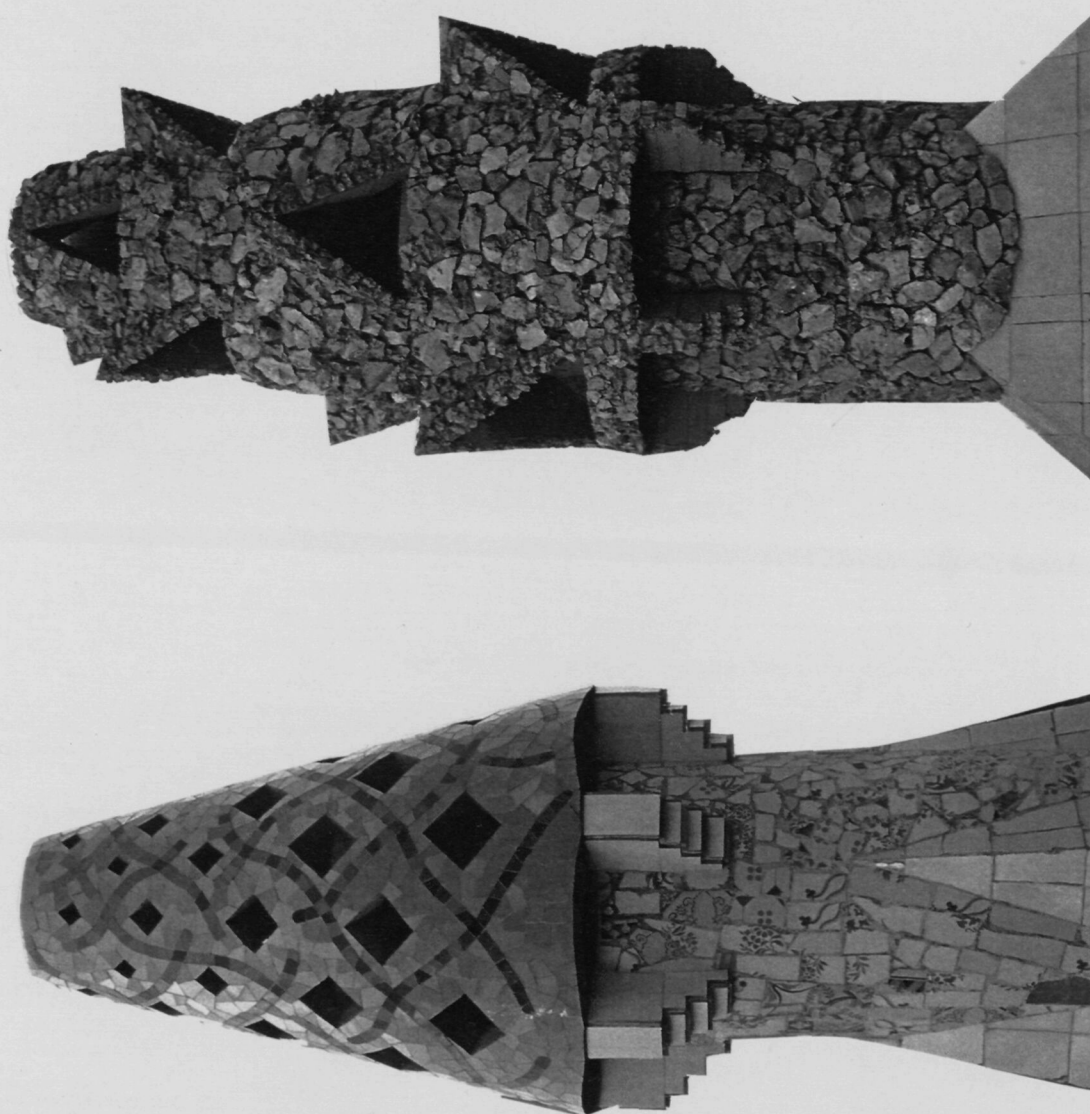


Fig.8

---

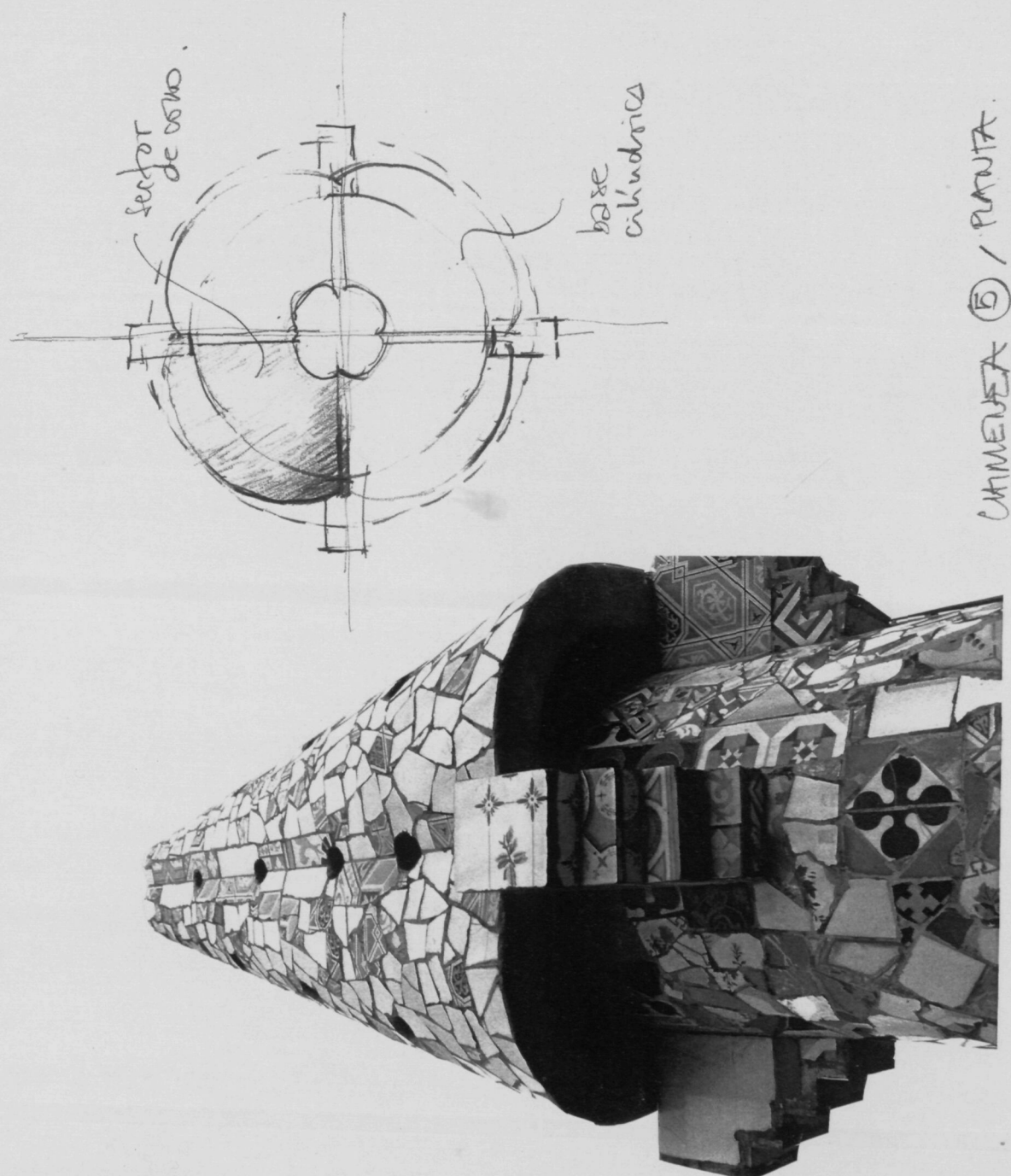


Fig.9

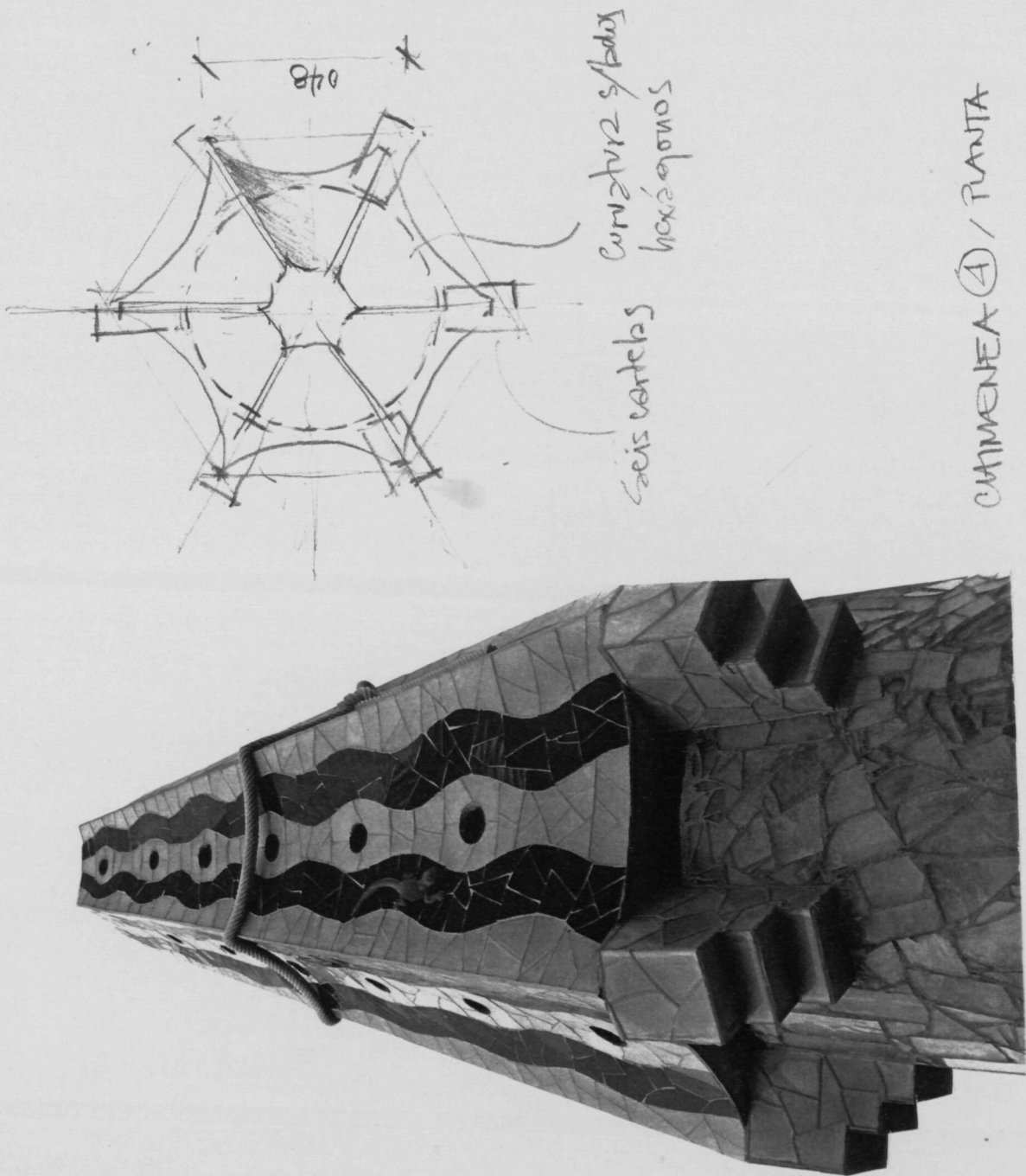


Fig.10



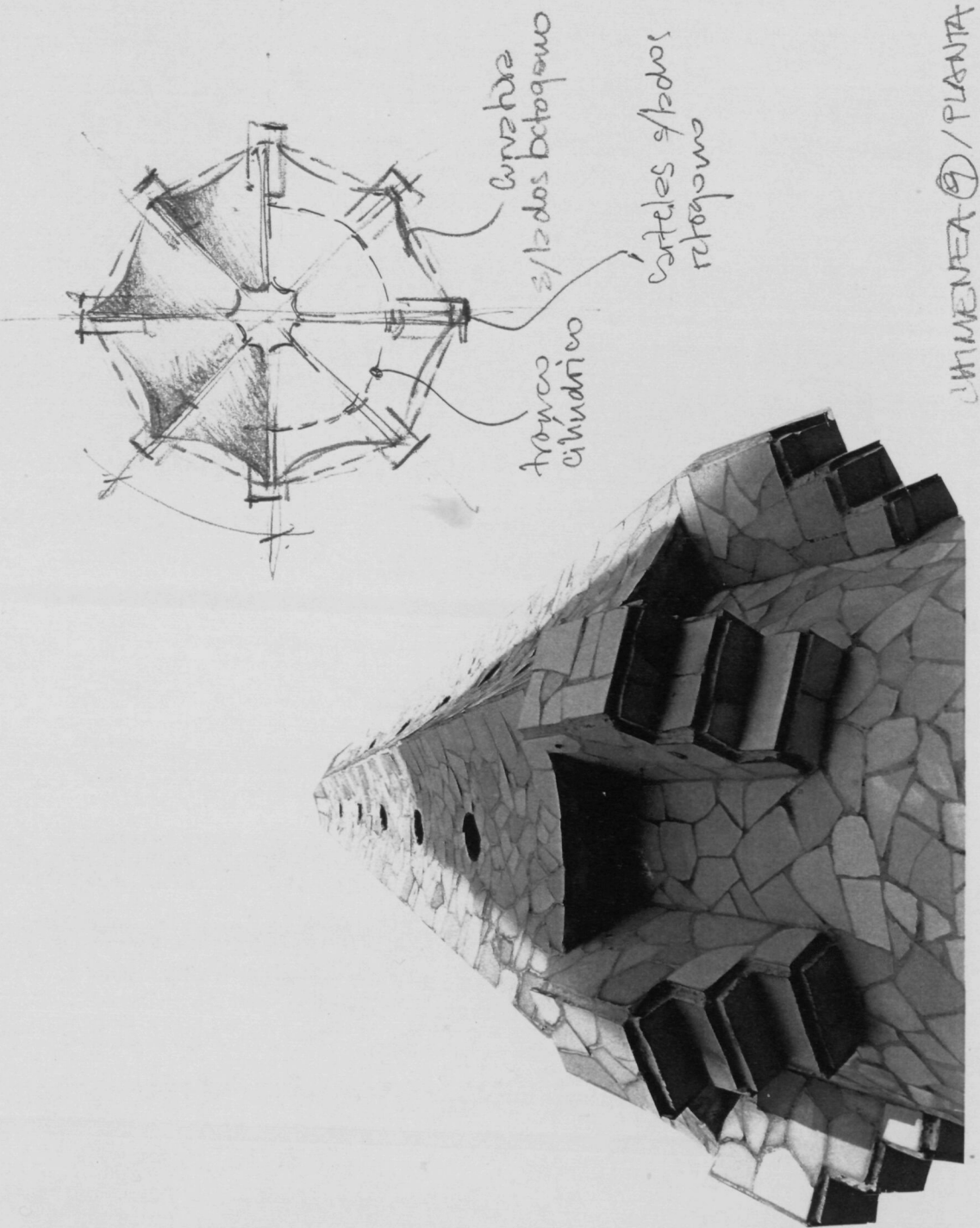


Fig.11



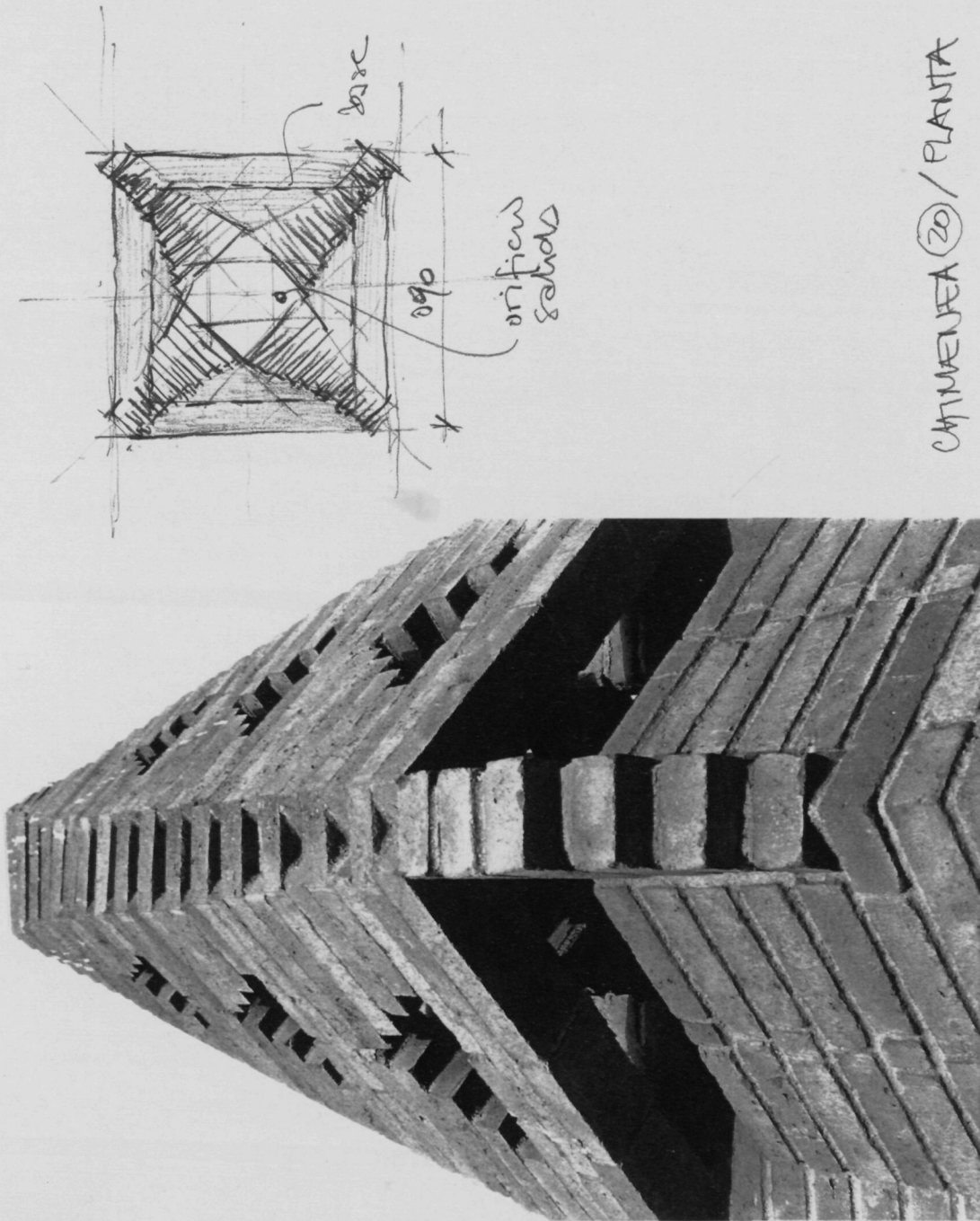


Fig.12